
Questa Dire
corso

COMPLÉMENT

DU

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cᵉ, 30, rue Mazarine

COMPLÉMENT

DU

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

PAR M. CH. LABOULAYE

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, MEMBRE DU COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

AVEC LE CONCOURS DE PLUSIEURS SAVANTS ET INGÉNIEURS.



SCIENCE. ART.

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
DE E. LACROIX
15, QUAI MALAQUAIS

1861

PRÉFACE.

Le succès du Dictionnaire des Arts et Manufactures a fait grandir la mission que nous nous sommes imposée de contribuer aux progrès de l'industrie par la vulgarisation des meilleurs procédés de fabrication et l'exposition des découvertes de la science qui peuvent fournir les moyens de les améliorer encore. A la vue du spectacle si intéressant offert par les grandes Expositions universelles des produits de l'industrie des diverses nations de ces dernières années, à la lecture des rapports de Jurys composés des notabilités du monde entier dans les sciences et l'industrie, nous avons senti la possibilité d'accroître encore la richesse de notre œuvre, d'y accumuler une multitude de renseignements nouveaux et utiles. C'était pour nous un devoir de le tenter; et c'est ce que nous avons fait par la publication de ce Complément que nous sommes heureux de terminer aujourd'hui.

L'Exposition de Paris a nettement confirmé ce que celle de Londres avait déjà clairement manifesté : l'extrême importance de l'art industriel, élément capital de succès pour une foule d'industries, auquel les ouvrages de technologie sont toujours, jusqu'ici, restés étrangers. Nous avons aussi travaillé à combler cette grave lacune.

Ainsi complété, le Dictionnaire des Arts et Manufactures se trouve, sans contredit, l'œuvre la plus considérable qui ait été consacrée à l'exposition des procédés du travail industriel. Puisse son utilité être en raison des efforts que nous avons faits pour remplir dignement notre tâche.

CH. LABOULAYE.

TABLE DES MATIÈRES.

Électricité.

Lumière.

DEUXIÈME SECTION.

CHIMIE INDUSTRIELLE.

Chimie végétale.

TROISIÈME SECTION.

BIOLOGIE INDUSTRIELLE.

CINQUIÈME SECTION.

GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE.

Mesures.

Arts de construction et d'assemblage.

Arts d'imitation.

ART INDUSTRIEL

INTRODUCTION.

Nous devons commencer ce Complément, comme le Dictionnaire, en rappelant l'importance capitale des sciences pour la production industrielle, afin de ne jamais laisser oublier ce qui fait la noblesse, la valeur du travail humain; la subordination de la matière à l'esprit.

L'étude d'un art, aussi bien que celle d'une science, pour en étendre le domaine, est un travail intellectuel qui exige une méthode philosophique pour rapporter à l'édifice en construction tout résultat nouveau.

La vulgarisation d'une semblable méthode dans les ateliers est la principale source du véritable progrès industriel. Or, comme ce sont les sciences qui apprennent à s'élever du connu à l'inconnu, rien ne peut plus contribuer à enseigner aux producteurs les bonnes méthodes intellectuelles que l'analyse des procédés de fabrication ramenés à des principes scientifiques; que l'exposition claire de la théorie de chaque fabrication considérée comme une application des sciences physiques, théorie à laquelle tous les progrès de la pratique peuvent venir se rattacher comme à un centre commun. C'est là le but le plus élevé que l'on puisse se proposer en écrivant sur l'industrie, et surtout dans un travail qui comprend l'ensemble de la technologie. C'est fondre dans un même ensemble les travaux des savants et des praticiens avec quelque avantage pour la science et un immense profit pour la pratique, qui apprend à utiliser toutes les découvertes de la science.

Mais de là ne résulte pas que le rôle des savants soit de descendre dans les ateliers, d'abandonner les études spéculatives pour ne s'occuper que des applications. Leur rôle est plus important, il consiste à créer, à accroître les connaissances dont la vulgarisation a tant d'utilité. C'est la science qui fait naître l'industrie; celle-ci applique les découvertes, mais ne les fait pas en général, et surtout ne leur donne pas leur développement. Nous ne pourrions, à cet égard, nous expliquer avec l'autorité du doyen des savants français, de l'illustre M. Biot, qui a combattu avec toute l'autorité qu'il a si justement acquise par tant de travaux, une erreur trop commune de nos jours, un oubli trop fréquent du rôle du savant.

Nous extrayons le passage ci-après d'un article publié par lui dans le *Journal des savants*, sur le *Commercium epistolicum J. Collins et aliorum de analysi promota*, publication curieuse relative au plus grand progrès des sciences modernes, à la découverte du calcul infinitésimal. Ce passage renferme des conseils qui ont autant d'à-propos que d'utilité.

« Depuis cinquante ans, les sciences physiques et chimiques ont rempli le monde de leurs merveilles. La navigation à la vapeur, la télégraphie électrique, l'éclairage au gaz et celui qu'on obtient par la lumière éblouissante de l'électricité, les rayons solaires deve-

nus des instruments de dessin, d'impression, de gravure, cent autres miracles humains que j'oublie, ont frappé les peuples d'une immense et universelle admiration. Alors la foule irréfléchie, ignorante des causes, n'a plus vu des sciences que leurs résultats; et, comme le sauvage, elle aurait volontiers trouvé bon que l'on coupât l'arbre pour avoir le fruit. Allez donc lui parler d'études antérieures, des théories physiques, chimiques, qui, longtemps élaborées dans le silence du cabinet, ont donné naissance à ces prodiges! Vantez-lui aussi les mathématiques, ces racines génératrices de toutes les sciences positives; elle ne s'arrêtera pas à vous écouter. A quoi bon des théoriciens? Lagrange, Laplace ont-ils créé des usines ou des industries? Voilà ce qu'il faut! Elle ne veut que jouir. Pour elle le résultat est tout; elle ignore les antécédents et les dédaigne. Gardons-nous, tous tant que nous sommes qui cultivons les sciences, de nous laisser troubler à ce bruit des exigences populaires. Poursuivons avec une invariable persévérance notre patient travail d'exploration sans les écouter. Continuons à étudier la nature dans ses secrets intimes, à découvrir, mesurer, calculer les forces qu'elle met en œuvre, nullement préoccupés des applications profitables qu'on en pourra faire. Elles viendront toujours à leur temps, comme conséquences. Surtout, que nos leçons et notre exemple dirigent et entretiennent constamment la jeunesse studieuse dans ces vues élevées. C'est la condition de son développement et de tout progrès à venir. Car si pour le motif étroit de la préparer de bonne heure aux applications pratiques on la jetait prématurément dans le mécanisme des faits matériels, sans l'avoir d'abord instruite des lois abstraites qui les régissent et des théories générales qui les rassemblent, lui ôtant même le goût ainsi que la volonté de s'en instruire, on arrêterait, on enchaînerait pour toujours l'essor de son intelligence, et l'on verrait bientôt s'éteindre en elle ce feu, cette vivacité de perception, d'imagination, qui est une des qualités les plus brillantes et les plus distinctives de l'esprit français. *Quod Deus avertat!* A défaut de moyens de défense plus directs, la réimpression d'ouvrages purement abstraits, tels que la *Mécanique analytique* de Lagrange et le livre que nous annonçons, si elle est favorablement accueillie du public, pourra être regardée comme une protestation pacifique contre ces tendances à notre abaissement intellectuel, et ce sera aussi l'un des meilleurs antidotes que l'on puisse leur opposer. »

Cette exclusion de la science pure par l'esprit utilitaire contre laquelle cherche avec si grande raison à réagir le savant M. Biot, si elle est à craindre pour les sciences les plus abstraites, pour les sciences mathématiques pures, est bien moins à redouter pour la partie des sciences comprise généralement sous le nom de *philosophie naturelle*, dont les progrès se traduisent immédiatement en résultats pratiques, et excitent le vif intérêt des hommes qui apprécient le moins la pure théorie, mais qui savent bien y découvrir des moyens assurés de succès.

La philosophie naturelle qui comprend toutes les sciences physiques, toutes celles qui traitent des phénomènes de la nature, est, on peut dire, moderne sous sa forme actuelle. Son renouvellement date véritablement de Bacon et de Galilée, et les nouvelles méthodes ont trouvé dans Newton leur plus éminent interprète. Pendant tout le moyen âge et jusqu'au mouvement de rénovation, de confiance en soi de l'esprit humain qui s'est manifesté lors de la Réforme, à une époque si fertile en grands efforts intellectuels, le monde était considéré comme se maintenant par l'effet du hasard pour les uns, par l'intervention incessante de la volonté divine pour les autres. Ce ne fut guère qu'à partir de cette époque que, secouant le joug de la théologie scolastique, l'esprit humain reprit la tradition des grands génies de l'antiquité; ce fut surtout par l'influence des grands esprits du dix-septième siècle, de Descartes, de Leibnitz notamment, que le monde fut regardé comme se maintenant par le jeu de forces obéissant à des lois parfaitement déter-

minées. Si quelques esprits s'étaient, dans plusieurs directions, élevés dans l'antiquité à cette notion de lois, c'était sans en faire un point de départ pour des recherches variées à l'infini. Ce n'est quo depuis qu'elle est devenue prédominante que s'est construit l'immense édifice des sciences, qui ont permis le développement de la civilisation moderne, au point de vue matériel. Le nombre, l'étendue de ces sciences dont plusieurs, la chimie notamment, sont entièrement nouvelles, en a prouvé toute la vérité.

C'est parce qu'il existe des lois, que la méthode expérimentale qui consiste à produire un phénomène en faisant varier un ou plusieurs des éléments de son existence, permet d'obtenir la relation de cet élément avec le phénomène pour tous les cas possibles. Ce sont ces lois bien établies, dont la mathématique permet do tirer toutes les conséquences même les plus éloignées, qui constituent la masse de connaissances qui forment la plus véritable richesse que nous puissions transmettre aux générations futures.

Je no reviendrai pas ici sur les principes, les méthodes que j'ai cherché à analyser dans l'introduction de cet ouvrage; je me bornerai, pour compléter mon premier travail, à exposer avec quelques détails une loi peu connue encore, vaguement admise jusqu'ici dans la science comme conséquence du grand principe que je viens de rappeler, et dont on n'a nullement tiré les fécondes conséquences qui doivent résulter de son application. Elle est cependant au plus haut degré fondamentale aussi bien qu'incontestable.

Bien des lois que nous admettons comme la meilleure manière d'expliquer les phénomènes dans un état donné de la science n'ont de valeur que momentanément; il n'en est pas de même de celles qui comme l'attraction définie par Newton, simples et étant l'expression directe de faits certains, sans prétendre révéler la nature intime des forces naturelles dont la conception change avec chaque progrès que nous faisons dans la connaissance de la nature, suffisent à expliquer un monde de faits, comme celle que nous venons de citer qui suffit pour l'analyse de tous les faits astronomiques. La conquête de semblables principes est la plus belle que l'on puisse tenter, et celui dont nous voulons parler, à l'établissement duquel nous consacrons tous nos efforts, nous semble aussi peu contestable que celui de l'attraction.

Avant d'en traiter, nous rappellerons que nous avons établi en traitant de la physique que la réduction à la mécanique, c'est-à-dire à la science du mouvement, est en physique le dernier progrès possible; qu'en dernière analyse il n'y a qu'étendue et mouvement comme l'a proclamé Descartes, et que c'est à ramener à ces premières notions, les plus simples, les plus abstraites que nous puissions concevoir des phénomènes du monde matériel, quo nous devons nous appliquer. Nous avons pris pour exemplo les sons produits par les vibrations des corps; celles-ci étant connues et quant à leur rapidité et quant à leur amplitude, la théorie de la production des sons est complète et il n'y a rien de plus à découvrir dans cette voie. C'est un semblable progrès qui me parait pouvoir être accompli relativement aux puissances qui produisent les grands phénomènes do la nature, c'est la conséquence du grand et important principe que je définis le principe de la permanence des puissances de la nature.

DE LA PERMANENCE DES PUISSANCES NATURELLES[1].

Au siècle dernier, un puissant génie, Lavoisier, régénérait ou plutôt créait la chimie, en posant pour base de ses recherches la permanence de la matière. *Rien ne se perd, rien ne se crée*, était son point de départ, le principe qui lui faisait retrouver à l'aide de la balance tous les éléments des compositions et décompositions qu'étudie le chimiste.

Cette grande idée, qui, introduite dans la science, a permis d'élever avec une rapidité inouïe un admirable édifice qui en a montré l'exactitude et la profondeur, appelait un complément plus important peut-être au point de vue de la philosophie de la science physique, qui tend à se démontrer complétement de nos jours : la permanence des puissances de la nature qui semble la conséquence nécessaire de la régularité des phénomènes astronomiques.

Formulé plusieurs fois par les philosophes, (ne reconnaît-on pas dans cette idée la monade de Leibnitz?) ce principe n'est entré que nouvellement dans la science, non sous forme de permanence, mais sous la forme d'équivalence de diverses forces naturelles, ce qui revient au même, comme nous allons le voir.

Étudions d'abord les forces dont les effets nous sont le mieux connus, à savoir les mouvements des corps qu'étudie la mécanique. Montgolfier, l'inventeur des aérostats, qui n'était pas seulement, comme on le croit trop, un heureux chercheur, mais un savant ayant un sentiment profond des lois naturelles, posa en principe vers 1800 la permanence des mouvements. De cette aperception incomplète comme nous allons le voir, d'un principe juste, il fit une application extrêmement remarquable dans un très-ingénieux appareil à l'invention duquel les principes reçus alors de la science ne l'eussent sûrement pas conduit, et dont Bossut nia la possibilité à l'origine, le bélier hydraulique.

Faire remonter l'eau, par sa propre action, à un niveau supérieur à celui d'où elle tombe, était un problème qui paraissait insoluble; c'est cependant ce qui se passe dans le bélier de Montgolfier, dans lequel l'eau mise en mouvement dans un tuyau entraîne un boulet qui ferme momentanément l'orifice de sortie, et le mouvement de l'eau ne pouvant être instantanément anéanti, produit le seul effet qui est resté possible; l'eau soulève une soupape chargée d'une haute colonne d'eau et à chaque fois y fait passer une nouvelle quantité d'eau.

Malgré cette curieuse expérience, il est bien évident que si l'idée de Montgolfier contient une part de vérité, elle n'est pas toute la vérité, car nous voyons dans mille circonstances le mouvement s'anéantir sans laisser de traces. Ce n'est pas le mouvement qui persiste, en présence de résistances, c'est le travail de la force qui produit le mouvement par suite d'une pression exercée sur le mobile.

Lorsqu'une force produit un mouvement, elle engendre, en exerçant son action d'une manière continue sur un corps résistant, un effet qui doit évidemment s'évaluer par la répétition d'une pression, par le produit de cet effort et du chemin qu'il fait parcourir à son point d'application. C'est là le *travail*, l'unité complète dont l'introduction dans la science mécanique a été un immense progrès, d'une très-grande valeur logique, que Coriolis, Navier et surtout Poncelet ont bien fait apprécier de nos jours par leurs beaux travaux. Elle l'a débarrassé de bien des difficultés, de bien des obscurités qu'y avait introduites l'abus des considérations statiques, se rapportant à l'état d'équilibre, qui tendaient à remplacer les forces par des lignes, la mécanique par la géométrie.

Insistons sur cette notion fondamentale, en expliquant la manière de mesurer le travail des forces, et la nature de l'unité adoptée.

La force la plus importante, dont nous rencontrons sans cesse les effets, est la gravitation en tant qu'elle détermine la chute des corps. La nature des forces nous étant complétement inconnue, nous ne pouvons les comparer que par leurs effets, et comme les effets de la pesanteur nous sont les mieux connus, c'est par la comparaison avec ceux-ci que nous jugeons ceux des autres forces ; de la comparaison des effets nous déduisons ensuite celle des forces mêmes.

La pression exercée par une force à l'état de repos, et qui en est la mesure, pourra toujours être évaluée par un poids. Quant à ce qui concerne les forces produisant du mouvement, le travail peut toujours être considéré comme l'équivalent d'un poids soulevé, et être exprimé par conséquent par un poids élevé à une hauteur

[1] Nous avons fait plusieurs emprunts à l'excellent discours de M. A. Baumgarten de Vienne *sur l'équivalent mécanique de la chaleur*.

déterminée, ou par la hauteur à laquelle on a élevé un poids déterminé. Si on multiplie le poids par la hauteur, on a, sous la forme la plus concise, l'expression numérique de l'effet produit. Les poids étant exprimés en kilogrammes et les hauteurs en mètres, c'est la même chose de dire par exemple : 20 kilog. élevés à 1m ou 10 kilog. élevés à 2m, parce que le produit de ces nombres est toujours 20.

Le travail par lequel un kilogramme est élevé à la hauteur d'un mètre ou le kilogrammètre sera donc l'unité de travail, comme le mètre est l'unité de longueur, la seconde l'unité de temps.

Revenons maintenant à notre point de départ. Il sera facile par l'examen de phénomènes dans lesquels le mouvement disparaît de voir que le travail des forces en jeu n'est nullement détruit. En général quand un travail a été produit, quand, par exemple, un poids a été élevé à une certaine hauteur par un treuil, bien qu'il n'apparaisse plus de mouvement, la permanence du travail est complète, puisque le poids élevé possède la faculté de restituer ce même travail par sa chute; il y a eu déplacement, emmagasinement, mais non consommation. Avec les communications de travail, ces passages de l'état actif à l'état latent, ces dissimulations du travail possible qui n'est plus indiqué que par des pressions, servent à analyser les phénomènes du mouvement.

Toutefois, on ne peut pas, en général, retrouver la totalité du travail dépensé pour produire un effet donné; une partie dans la mécanique terrestre disparaît toujours, sous forme de frottement notamment; c'est de là que résulte l'impossibilité du mouvement perpétuel. Le principe de la permanence du travail mécanique semblerait donc inadmissible, dans les applications de chaque jour au moins, si l'on ne remarquait que lorsque ces déficit se produisent, on voit apparaître de la chaleur. Ainsi dans les frottements des axes de rotation, dans l'emploi des outils, des scies, des vrilles, etc., toujours il y a échauffement. On sait que les sauvages des forêts américaines se procurent du feu en frottant deux morceaux de bois l'un sur l'autre, et que bien souvent on a essayé de produire industriellement de la chaleur par le frottement. A la dernière exposition universelle on a vu un curieux appareil de ce genre, une chaudière à vapeur dans laquelle la vaporisation était produite par la rotation d'un cylindre.

Lorsque toutes les idées que nous nous faisons du travail des forces, d'après tous les faits de la science, nous portent à penser qu'il ne peut s'anéantir de lui-même; lorsque nous voyons les corps célestes obéir, sans variation aucune, aux forces qui les sollicitent, nous devons croire à la permanence du travail. Il est donc nécessaire de conclure que dans les cas où un déficit se produit et un échauffement apparaît, il doit y avoir équivalence entre le travail et la chaleur. Tel est en effet le principe, déjà entrevu par Montgolfier, qui a été posé nettement en 1842 par le docteur Meyer d'Heilbronn. En établissant entre les deux phénomènes les relations de cause à effet, il formula le principe que les deux quantités devaient varier, l'une proportionnellement à l'autre. C'est cette notion d'équivalence qui s'est introduite récemment dans la science.

Déjà, dans un admirable travail publié dès 1824, S. Carnot (*Réflexions sur la puissance motrice du feu*) avait formulé une grande partie de la vérité, en montrant que le mouvement perpétuel était une conséquence nécessaire des idées qui régnaient alors sur la manière d'agir de la chaleur, qui faisaient considérer le travail qui peut être produit par la chaleur comme variant avec les divers corps auxquels elle est communiquée. On ne rendit pas justice à cet esprit éminent et cependant les principes qu'il a posés restent la base de la théorie de la production du travail mécanique de la chaleur; surtout celui que le travail théorique produit ne dépend pas de la nature du corps chauffé, mais seulement de la chaleur employée. De là se déduisait naturellement la mesure de l'effet utile que pouvait produire la chaleur, base de la théorie de la machine à vapeur, cas inverse de celui dont nous avons parlé ci-dessus. Ici c'est du charbon qui, brûlant sous une chaudière détermine le mouvement du piston de la machine; l'eau et la vapeur ne sont que des intermédiaires matériels à l'aide desquels la chaleur agit sur le piston.

Pour approfondir davantage les relations de la chaleur et du travail mécanique, pour qu'une semblable étude devînt possible, il fallait comparer des unités complètes; et on ne pouvait arriver à reconnaître la vérité par l'expérience, si on ne tenait compte que de forces, de tensions ou de températures seulement. On a dû constituer une unité de chaleur adéquate à celle du travail, définir exactement la quantité de chaleur. On a adopté à cet effet pour unité la calorie, la quantité qui échauffe un kilog. d'eau d'un degré, qui ne dépend pas plus de la température que la quantité du travail de la vitesse, c'est-à-dire, qui est dégagée de la considération des phénomènes secondaires, ne changeant pas la valeur de l'unité complète formée du produit de plusieurs quantités, si pendant que l'une d'elles varie, le produit ne varie pas, l'autre varie inversement.

Ceci établi, si l'on interroge les faits, on reconnaît expérimentalement la disparition,

la consommation de chaleur dans la machine à vapeur, en *proportion* du travail produit, aussi bien que la production de la chaleur dans tous les cas d'emploi de travail mécanique, et cela en *proportion* de ce qui disparaît comme travail ; ce qui démontre incontestablement une certaine similitude de nature, une homogénéité entre des causes qui produisent des effets semblables et permet de conclure la généralité de la loi d'équivalence, dont la probabilité résulte si complétement de l'ensemble des faits mécaniques et lorsque la loi de Carnot démontre la constance nécessaire du rapport des deux éléments.

En effet, établir que la conversion de travail en chaleur et réciproquement est soumise à la loi constante d'équivalence, est surtout affaire de logique. C'est ainsi qu'on ne peut pas démontrer expérimentalement l'impossibilité du mouvement perpétuel, et qu'il faut que l'esprit tire de l'étude d'un nombre limité de mouvements la certitude qu'il ne pourra jamais être réalisé, que toutes les résistances ne pourront jamais être annulées. La démonstration de S. Carnot que l'on arrive directement au mouvement perpétuel, si on admet que le travail engendré par une quantité de chaleur déterminée n'est pas une quantité constante, peut varier avec le corps auquel elle serait communiquée, est du seul genre possible; car comme on ne peut faire sur tous les corps de la nature l'expérience qui prouverait la vérité de cette proposition, et que l'action de la chaleur n'est pas toujours aisément mesurable, il faut se contenter d'une démonstration par l'absurde que l'expérience confirme et qu'aucun fait suffisamment étudié ne vient infirmer. A quoi il faut ajouter les vérifications de tout genre qui doivent résulter de l'exactitude des conséquences tirées de la nouvelle théorie.

La proposition de Carnot, établie en raisonnant sur un gaz parfait, qu'une quantité déterminée de chaleur produit au maximum une quantité également déterminée de travail mécanique utilisable, conduisait à admettre, en présence de tous les cas où ce travail utilisable était inférieur à ce maximum, qu'il répondait à la totalité des actions tant extérieures qu'intérieures, c'est-à-dire non-seulement à celles qui surmontent les résistances extérieures, mais encore à celles employées à modifier l'état des molécules. Cette dernière partie est dans les solides une partie importante de travail produit; elle est même la totalité à la température où le corps se fond, où toute cohésion entre les molécules qui constituent le corps solide disparaît. On sait qu'alors il faut consommer pour le fondre une quantité considérable de chaleur qui est dite chaleur latente; cas anciennement connu et très-remarquable de la conversion d'une quantité considérable de chaleur en travail.

Dans ce qui précède, nous avons eu surtout en vue la production du travail par la chaleur, la proposition inverse, ou la constance du rapport du travail à la chaleur produite, le renversement de la proposition ci-dessus ne peut être davantage contesté; c'est au fond la même proposition.

Ce n'est que dans ces dernières années que la valeur du rapport entre la chaleur et le travail produit, de ce qu'on nomme l'équivalent mécanique de la chaleur, a été déterminée par le calcul et par l'expérimentation. De la discussion complète à laquelle je me suis livré, comprenant les résultats obtenus par divers expérimentateurs en cherchant à apprécier les causes d'erreur, et surtout d'une expérience parfaitement probante faite par l'observation de la chaleur dégagée lors de l'écrasement d'un métal malléable, seul cas dans lequel il ne se produit sûrement que de la chaleur (sans mouvements intérieurs ou développement d'électricité comme dans beaucoup d'expériences tentées dans le même but), j'ai déduit comme valeur très-approchée 140 kilogr. mètres. En d'autres termes, la quantité de chaleur qui peut élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau peut engendrer un travail mécanique mesuré par un poids de 140 kilogrammes tombant d'un mètre.

On peut dire de même que $\frac{1}{140}$ est l'équivalent calorifique du travail, c'est-à-dire qu'un kilogrammètre peut produire une quantité de chaleur égale à $\frac{1}{140}$e de calorie.

La métamorphose de la chaleur en travail et réciproquement exige pour s'effectuer des conditions déterminées. Elles peuvent en principe se résumer en disant qu'il faut que le travail soit employé à mettre en jeu les forces qui s'exercent sur les molécules d'un corps, pour produire de la chaleur. D'une autre part, pour qu'une quantité de chaleur se transforme en travail, il faut qu'elle produise une dilatation, c'est-à-dire que la chaleur soit dirigée d'un corps plus chaud sur un corps moins chaud; d'où cette règle capitale pour la théorie de la machine à vapeur, formulée par S. Carnot, que l'utilisation pratique de la totalité de la chaleur exige qu'il ne se fasse, dans les corps employés pour communiquer le travail, aucun changement de température qui ne corresponde à un changement utilisé de volume. Il faut encore que cette dilatation rencontre une résistance, des obstacles mobiles, afin qu'il y ait travail produit; autrement il n'y a pas de métamorphose. C'est ce qui explique pourquoi une masse

d'air se refroidit quand elle s'étend en surmontant une pression, tandis que sa température ne change pas, quand l'extension a lieu sans obstacle, si la masse d'air se répand dans un vase fermé.

Les importants principes que nous venons d'établir ont eu une réaction naturelle sur la manière de concevoir la nature de la chaleur. Une ancienne expérience de Davy, qui était parvenu à fondre deux morceaux de glace en les frottant l'un sur l'autre, avait bien ébranlé la confiance en un fluide spécial qu'on appelait le calorique, et avait tourné les esprits vers la vibration des molécules des corps pour expliquer les effets de la chaleur.

Bien qu'on tende à exagérer peut-être aujourd'hui cette conception, et que l'on veuille par trop assimiler les effets de la chaleur à une action purement mécanique, que les propriétés du calorique rayonnant tout à fait semblables à celles de la lumière qu'il fait souvent apparaître, ne puissent s'expliquer que par les vibrations de l'éther, doivent faire toujours considérer la chaleur comme appartenant à un ordre en partie spécial de phénomènes; il n'en est pas moins certain que la majeure partie des effets de la chaleur : engendrant des mouvements moléculaires des molécules des liquides en les dilatant, accroissant la répulsion mutuelle des molécules gazeuses (ou plutôt le mouvement permanent des molécules gazeuses, suivant l'ingénieuse conception de M. Krönig, qui fait disparaître l'idée de répulsion, qui est peu satisfaisante, et permet de comprendre comment une dilatation de gaz qui ne produit pas de travail n'est pas accompagnée de refroidissement), s'explique d'une manière satisfaisante en admettant des mouvements moléculaires.

On en revient ainsi à la définition de Newton qui pensait que la chaleur consiste en un petit mouvement vibratoire des molécules des corps, susceptible d'être communiqué par les ondulations de l'éther.

La différence entre la chaleur et le travail mécanique serait donc surtout celle qui existe entre le mouvement de molécules et le mouvement d'une masse; et la métamorphose de l'un dans l'autre une communication, d'après les lois de la mécanique, pendant laquelle le mouvement passe de la masse dans les molécules, ou inversement.

Nous voyons s'accomplir sous nos yeux des métamorphoses analogues du mouvement. Les sons du violon et du piano sont le résultat du mouvement vibratoire particulier des cordes produit en agissant sur la masse de la corde au moyen d'un archet ou d'un marteau. Par un changement inverse, quand, après un coup de canon, les oscillations de l'air cassent nos vitres, c'est que le mouvement a passé des molécules de la poudre à la masse de l'air.

Le travail mécanique (dont on trouve la source principale dans la pesanteur, dans l'attraction terrestre qui produit les chutes d'eau par exemple) et la chaleur ne sont pas, on le sait, les seules puissances qui jouent un grand rôle dans la nature. La lumière, l'électricité, le magnétisme, les forces chimiques, les cohésions moléculaires, ne leur cèdent pas en importance. Chacun de ces agents produit des effets particuliers qui le caractérisent, et qui ont précisément amené le physicien à reconnaître l'existence de tant de forces diverses; mais à côté de ces effets caractéristiques, il s'en manifeste d'autres, qui appartiennent à des agents différents, comme de la chaleur et de la lumière dans les actions chimiques et dans les phénomènes électriques et magnétiques, et réciproquement des phénomènes électriques avec de la chaleur et la lumière, ou des combinaisons et des décompositions chimiques avec de la lumière et de l'électricité. Dans l'état actuel des sciences naturelles, nous ne pouvons plus considérer de tels effets comme hétérogènes ou secondaires; nous devons, au contraire, les considérer comme le résultat d'une corrélation qui existe entre ces forces, d'une métamorphose possible, d'après une loi d'équivalence. Nous allons même voir qu'elles se ramènent à l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur, autour de laquelle roule toute la question de permanence des autres forces naturelles.

La lumière et la chaleur rayonnante sont de même nature : toutes deux se propagent par les vibrations de l'éther. Les vibrations lumineuses, même celles qui sont trop faibles pour impressionner notre organe visuel, propagent aussi de la chaleur, et les vibrations calorifiques deviennent lumineuses quand elles ont une intensité suffisante. La lumière n'est donc qu'une seconde perception, à l'aide du sens de la vue, du phénomène calorifique, quand il se produit d'une certaine manière, et il n'y a pas à établir une loi nouvelle d'équivalence.

L'électricité peut produire à volonté du travail mécanique, ou de la chaleur, ou des décompositions chimiques. Elle-même est produite par une action chimique, par l'oxydation du zinc le plus souvent.

Le progrès des sciences a conduit récemment à établir d'une manière très-satisfaisante l'équivalence de la chaleur et de l'électricité, et par suite du travail mécanique qui ne peut évidemment différer de celui qui correspond à la chaleur équivalente à l'électricité. L'expérience

a fait reconnaître que pour un même poids de zinc oxydé, par suite pour une même quantité d'électricité nécessairement proportionnelle à la quantité de zinc, la chaleur dégagée, tant dans l'intérieur d'une pile que dans un fil métallique qui en réunit les deux pôles, était une quantité constante. Cela est vrai, quelle que soit la nature de ce fil, sa section ou sa longueur, et par suite l'élévation de sa température.

Nul doute, par suite, sur le principe d'équivalence de l'électricité et de la chaleur; il ne reste plus, pour formuler le chiffre qui la représente, qu'à bien définir l'unité complète d'électricité, qui paraît s'exprimer d'une manière satisfaisante pour le fil possédant l'unité de résistance, par le produit de l'intensité du courant (mesuré par la déviation d'un galvanomètre) multipliée par la durée de l'action.

L'équivalence ne doit pas faire confondre ensemble des forces dont les effets sont très-différents. Ainsi, bien que les manifestations de l'électricité soient accompagnées le plus souvent de phénomènes ignés, il ne faut pas les considérer comme indiquant sa nature. Celle-ci n'est pas plus ignée que celle du marteau dont les coups répétés échauffent un morceau de métal. La foudre ne descend des nuages, en rayons lumineux, que parce qu'une grande partie de sa puissance de travail est métamorphosée en chaleur par la résistance de l'air; elle n'embrase que les corps qui s'opposent à sa marche, cette résistance étant, comme l'expérience le prouve, la condition du dégagement de la chaleur, et épargne au contraire les corps qui se laissent facilement traverser. C'est précisément là le principe du paratonnerre.

Les idées d'équivalence de chaleur et d'électricité concordent parfaitement avec la manière de concevoir la nature de celle-ci qui résulte des derniers progrès de la science. Les phénomènes de l'électricité sont considérés comme engendrés par une polarisation moléculaire, une vibration tendant à rapprocher les pôles des molécules, résultat ou cause de l'ébranlement de l'éther sûrement mis en mouvement dans les phénomènes lumineux produits par une tension électrique suffisante.

Elles ne permettent pas d'admettre l'existence d'un fluide, d'une substance électrique spécifique, car l'existence d'une telle substance, dont la quantité ne serait susceptible ni d'augmentation ni de diminution, est incompatible avec le fait de la métamorphose de l'électricité en chaleur et en force mécanique.

Avec la substance électrique, tombe également la substance magnétique, la science ayant établi l'identité des phénomènes magnétiques et des courants électriques. Ainsi l'empire des impondérables touche à sa fin; et la science se débarrasse chaque jour de ces agents mystérieux multiples, qu'on douait de propriétés nouvelles chaque fois qu'il se présentait un phénomène nouveau à expliquer.

Disons maintenant quelques mots des relations de la chaleur avec les phénomènes produits par les forces d'attraction qui, entre éléments différents nous donnent tous les composés qu'étudie la chimie, entre éléments semblables les corps solidifiés par la cohésion de leurs molécules.

Occupons-nous d'abord de ce dernier cas.

Les cohésions des corps peuvent être détruites soit par le travail mécanique, soit par la chaleur, soit même être modifiées par l'électricité. Mesurées directement par le travail mécanique qui peut les détruire dans les expériences de rupture, indirectement par la chaleur latente de fusion des corps, la loi d'équivalence avec le travail mécanique résulte de leur destruction directe par celui-ci, ce qui implique bien une nature semblable; conséquence encore de ce qu'elles sont dues à des forces de même nature que celles qui engendrent le travail mécanique lui-même, que la pesanteur, par exemple, engendrée par l'attraction terrestre.

Au point de vue de la permanence générale des forces, les cohésions des solides apparaissent comme constituant un immense magasin de travail résistant, ou de chaleur équivalente qui remplit probablement un rôle de régulateur universel. C'est ainsi qu'une grande quantité de chaleur sera absorbée dans certains cas pour fondre des substances, et l'absorption de cette chaleur latente ne causera aucun changement de température, bien que sa quantité soit très-considérable comme le travail des cohésions détruites. Inversement la solidification d'une masse liquide dégagera une quantité de chaleur correspondant à une quantité de travail considérable.

Le rôle que nous attribuons ici aux liquides et aux solides comme régulateurs de chaleur et de travail, est également vrai des gaz et des vapeurs, dont la formation entraîne l'absorption de grandes quantités de chaleur (par l'évaporation produite à la surface des mers notamment) que dégage leur liquéfaction.

La notion d'équivalence du travail mécanique ou de la chaleur avec la cohésion entre les atomes similaires d'un corps, sous l'influence des forces d'attraction, s'applique évidemment de tout point aux cohésions entre atomes différents, opérées par l'action de forces tout à fait semblables à l'attraction dites affinités, pour tous les composés qu'étudie le chimiste. La notion de métamorphose du travail en chaleur

combinée avec le principe de permanence, permet de retrouver sous ses diverses manifestations le travail qui ne disparaît pas plus qu'il ne peut croître seul. S'il ne paraît pas de corps solide en masse dans une combinaison chimique, les atomes des éléments n'en ont pas moins été réunis semblablement; il n'y a pas moins eu de même *nouveau travail engendré par les forces d'attraction*. Il en résulte, comme on sait, production de chaleur (de vibrations, si l'on veut); donc inversement, ce qui revient au même, les combinaisons chimiques ne peuvent être détruites que par des quantités de chaleur ou d'électricité équivalentes à cette quantité de travail. Nul doute, par suite, que cette chaleur ne permette d'obtenir la mesure du travail capable de rompre les cohésions atomiques.

J'ai montré comment, en partant de ces principes incontestables et grâce à la détermination préalable de l'équivalent mécanique de la chaleur, on pouvait aux rapports en poids seuls connus aujourd'hui, aux équivalents chimiques des corps qui se combinent, ajouter la mesure du travail des forces qui effectuent la combinaison, c'est-à-dire déterminer les équivalents mécaniques des corps, un des plus beaux progrès que la science puisse accomplir.

Il résultera, de leur détermination pour tous les corps, une connaissance intime de leur constitution moléculaire qui nous manquait jusqu'ici, celle de la quantité de travail capable de séparer les atomes des corps composants, obtenue à l'aide d'une mesure de chaleur.

D'où ce résultat, nécessaire d'après le point de départ, mais à signaler ici, que la considération des équivalents mécaniques non-seulement ramène la chimie à la mécanique et par suite doit lui donner sa forme définitive, mais encore conduit nécessairement à la mesure de la chaleur produite quand l'équivalent mécanique du composé est une fois connu. La constitution de la mécanique chimique ouvrira sûrement la voie à bien d'autres progrès, et sera le plus brillant résultat et la confirmation la plus complète de la théorie de l'équivalence du travail et de la chaleur.

L'analyse du travail des forces chimiques nous fournissant la loi de production de la chaleur, nous donne en même temps la solution des questions relatives au travail mécanique. Ce sont les forces d'attraction mises en jeu dans les combinaisons chimiques qui produisent la chaleur utilisée dans les machines à vapeur et à air, l'électricité dans les appareils électro-magnétiques. Nous pouvons montrer l'utilité et la fréquente utilisation des principes théoriques pour faire prévoir la limite des résultats qu'on peut espérer.

Dans les machines à vapeur, chaque gramme de charbon converti en acide carbonique par action chimique, produit 8 calories, soit $8 \times 140 = 1120$ kil. mètres de travail mécanique possible, si toute la chaleur se métamorphose en travail, par exemple produit de la vapeur dont l'action est supposée parfaite, dont la détente est complète. Moins la machine remplit cette condition, plus l'effet reste au-dessous du maximum indiqué par le calcul. La différence est en général très-grande, mais eu égard aux difficultés de la pratique, à la facilité avec laquelle se disperse la chaleur, on appréciera l'ensemble des améliorations apportées aux machines à vapeur de Cornouailles, les plus perfectionnées de toutes, en disant qu'elles rendent plus de 30 °/₀ de travail utile.

Dans une machine électro-magnétique, la force motrice a sa source dans l'oxydation du zinc de la pile. Le courant électrique qui en résulte se métamorphose partie en chaleur, par suite de la résistance opposée par le conducteur, partie en travail. Le calorique produit par l'oxydation d'un gramme de zinc, par la voie sèche, produit d'après Dulong 5 calories, et un travail égal à celui de cette chaleur doit pouvoir résulter de l'action d'une machine parfaite utilisant l'électricité produite par l'oxydation d'un gramme de zinc par voie humide (en supposant utilisée la chaleur qu'emporte l'hydrogène qui se dégage). Si cette chaleur est entièrement transformée en travail, ou si le courant électrique produit un travail équivalent à l'aide de machines électro-magnétiques supposées absolument parfaites, il devrait être égal à $5 \times 140 = 700$ kil. mètres.

Dans la revue générale que nous faisons ici des forces qui agissent sur la matière, nous devons dire un mot du travail que produisent ces merveilleuses machines que nous appelons corps vivants. Il est incontestable que c'est des forces chimiques, actives dans les phénomènes de la respiration et de la digestion, que provient le travail qui disparaît avec elles. On ne sait pas exactement toutefois comment se produit cette métamorphose, si elle est immédiate ou si elle s'accomplit par l'intermédiaire de l'électricité ou de la chaleur; cette dernière apparaissant dans les animaux en quantité très-considérable et en raison de leur alimentation.

Provisoirement, on admet comme vraisemblable l'intervention de l'électricité, mais ce n'est qu'une hypothèse, et on conçoit dès lors que l'évaluation du travail des ressorts organiques repose sur une base fort incertaine; mais il n'en est pas moins évident que l'organisme animal, même abstraction faite des fins nombreuses et *sui generis* qui sont dans sa nature, et à ne considérer que l'emploi économique de sa force de travail, est une machine

bien plus parfaite que celles inventées par le génie de l'homme. Cela est vrai à la fois quant à la variété infinie de mouvements possibles avec toutes les variations désirées de vitesse, de pression que règle la volonté, mais aussi eu égard à la meilleure utilisation des éléments des actions chimiques, à la perfection des appareils où s'effectue notamment la combustion du carbone et de l'hydrogène des aliments, qui produit toute la quantité de chaleur ou de travail qui peut faire naître d'après la théorie des équivalences.

Ce que nous disons ici des animaux est vrai de tous les corps vivants, des végétaux notamment et des forces chimiques actives dans la germination et le développement des végétaux. Il s'y fait une consommation abondante de la chaleur venant du soleil nécessaire à leur existence, par exemple à la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles. Aussi y a-t-il dans les végétaux création incessante de composés, accroissement rapide par cohésion entre molécules semblables et différentes, résultat direct de ce que le mouvement, la production de travail, leur est interdit.

En résumé, l'équivalence et la métamorphose des forces, conséquence et preuve du principe de la permanence des puissances qui agissent sur la matière, fait considérer la nature comme un établissement bien ordonné, muni d'une somme fixe de puissances indestructibles qui manifestent leur action sous des formes différentes. Si dans un phénomène il y a déficit apparent de travail, nous sommes certains de retrouver sous une autre forme l'équivalent de ce déficit. Ainsi, si deux corps se rencontrent et qu'après le choc, la somme des forces vives (expression du travail emmagasiné dans le corps en mouvement, en fonction de sa vitesse et de sa masse) paraisse moindre qu'auparavant, c'est qu'une partie en a été employée à faire entendre un choc, à rapprocher les molécules ou à produire de la chaleur.

Si malgré leur action constante, les locomotives de nos chemins de fer ne produisent pas une vitesse sans cesse croissante de la charge, on retrouve dans le mouvement imprimé à l'air choqué, dans le mouvement oscillatoire des voitures, dans le bruit produit par le train, dans la chaleur des essieux et des supports, l'équivalent du travail disparu. Les corps liquides ne font pas exception, et toute chute d'eau non utilisée, produit des mouvements orbitaires qui emmagasinent une grande quantité de travail, et aussi, dans une très-faible proportion avec celui-ci, de la chaleur. Tant qu'un mouvement a lieu dans le vide, tout le travail reste dans le corps mis en mouvement; mais l'entrée dans un milieu résistant a pour résultat une déperdition immédiate, laquelle se compense par le calorique dégagé par la compression. Une résistance opposée à un mouvement très-rapide peut échauffer le corps mû jusqu'à l'incandescence, ce qui suffit pour expliquer l'apparence ignée des masses météoriques tombant de l'espace dans l'atmosphère terrestre.

Ainsi donc les résistances qui forment obstacle au mouvement, le frottement et la résistance des milieux, ne peuvent plus être considérés comme des principes destructeurs. Ils n'anéantissent pas le travail qui est, soit simplement communiqué à d'autres corps, soit métamorphosé en chaleur, et cette métamorphose joue un grand rôle.

Les phénomènes qui se passent à la surface de la terre se trouvant ainsi expliqués, reliés entre eux, on a voulu aller plus loin et on s'est demandé si la stabilité due à des manifestations diverses, mais non à des changements de puissances, s'étendait à l'univers entier. Ce qui précède, et surtout la non-variation des mouvements astronomiques semble le démontrer bien suffisamment, et il est difficile de trouver d'autres preuves plus complètes dans l'état actuel de la science.

C'est surtout l'immensité de l'action solaire qui, produisant les évaporations cause d'absorption d'une quantité de chaleur énorme, donne naissance aux nuages, qui cause les changements de densité de l'atmosphère, en un mot tous les grands faits du domaine de la météorologie, faits qui se traduisent en travail des courants atmosphériques, des chutes d'eau, qui paraît rendre le système de la terre variable. Mais il est bien probable que nous nous préoccupons ici des faits secondaires, ce qui nous empêche d'apprécier les faits généraux. Si une portion de la terre s'échauffe le jour, une autre se refroidit la nuit; si elle reçoit plus de chaleur qu'elle n'en perd dans une saison, le contraire arrivera dans une autre, et le résultat général d'un mouvement complet de la terre dans son orbite sera constant, dépendant uniquement de la température de l'espace et des distances au soleil, qui, comparées à des périodes convenables, restent les mêmes.

La grande difficulté, qui n'est pas levée, pour prouver la stabilité absolue de l'univers, c'est la démonstration de la persistance du grand foyer de chaleur, du soleil. Dans notre manière habituelle de considérer la production de la chaleur, la persistance de cet immense foyer, son alimentation indéfinie semble inexplicable, bien que nous ne puissions en apercevoir de variations. Il y a là un grand fait à expliquer, ce que permettront les progrès à venir de la science, dont les horizons vont sans cesse en s'a-

grandissant. Dès aujourd'hui, la production de la chaleur et de la lumière par l'électricité fait entrevoir comment le retour de la chaleur solaire, transmise par rayonnement à la terre, peut se faire au soleil sous d'autres formes pour y produire de nouveau une combustion lumineuse ; et comment la permanence du travail des forces, grâce à la loi d'équivalence, suffit pour faire comprendre la permanence des phénomènes calorifiques et lumineux du soleil.

En résumé, la tendance générale du progrès des sciences étant de démontrer que les forces dont nous avons pu constater l'existence et que nous voyons répandues dans tout l'univers, sont liées par une loi d'équivalence, par suite, procèdent probablement d'un seul principe, et ne sont que les actions diverses d'une seule et même puissance, on devra reconnaître la constance de la quantité de cette puissance, et par suite la stabilité de l'univers. L'idée de permanence des forces et, par suite, la loi de leur métamorphose, de leur équivalence, qui en est la conséquence, nous procure ainsi sur le plan des mondes la vue la plus profonde que l'on ait eue depuis Newton. Elle a pour le domaine des sciences physiques une importance comparable à celle de la gravitation pour l'astronomie, et elle ne peut manquer de donner, sous bien des rapports, une forme nouvelle et une puissante impulsion aux sciences de la nature.

SCIENCES INDUSTRIELLES.

Je compléterai les indications relatives à quelques points des sciences industrielles traités incomplétement dans mon premier travail, et j'indiquerai quelques progrès nouveaux d'où peuvent sortir d'utiles applications.

I. PHYSIQUE.

Chaleur. — Je viens de traiter en détail le principe des nouveaux progrès qui s'accomplissent dans la théorie de la chaleur. J'ai depuis longtemps indiqué à l'article *Calorie* les conséquences de ces idées si importantes relativement à la puissance motrice des machines à feu. Elles nous rapprochent chaque jour d'une théorie tout à fait satisfaisante des transformations de chaleur en travail (et réciproquement) dont la machine à vapeur est l'exemple le plus brillant, et cette belle application sera une des plus utiles conquêtes de la science. Je donne dans des articles étendus : *Équivalent mécanique*, *Production de la chaleur*, *Chaleurs spécifiques*, etc., ce qu'il me semble permis de formuler aujourd'hui de la théorie dynamique de la chaleur.

Acoustique. — L'emploi des moyens graphiques pour la représentation des phénomènes acoustiques a été heureusement développé dans ces derniers temps.

Électricité. — La vitesse de propagation de l'électricité dans le fer et le cuivre a été déterminée expérimentalement.

La pile, l'instrument par excellence pour obtenir de grandes quantités d'électricité, ne fournit pas directement les moyens d'obtenir des effets dus à une forte tension, par exemple de longues étincelles. Cette propriété lui a été acquise par un nouvel instrument. M. Rumkorf, mettant à profit une curieuse observation de MM. Bréguet et Masson sur les courants d'induction, a construit un appareil qui donne des étincelles notables. M. Fizeau, en le munissant d'un condensateur, et M. Foucault, en faisant fonctionner à la fois plusieurs machines, sont parvenus à en obtenir des étincelles d'un décimètre de longueur.

Enfin d'importants travaux assurent la détermination de l'équivalent mécanique de l'électricité, et prouvent dès aujourd'hui la certitude des idées de corrélation entre cette puissance naturelle et celles qui ont pour nom chaleur et travail mécanique.

II. CHIMIE.

Nous avons fait entrevoir plus haut comment la notion d'équivalence de la chaleur et du travail doit permettre, par son extension, de faire rentrer la science chimique dans le domaine de la mécanique, et par suite lui donner un caractère de perfection qui lui manque aujourd'hui. Ce progrès doit résulter de la détermination des équivalents mécaniques des corps, c'est-à-

dire des quantités de travail (ou de chaleur équivalente, car c'est celle-ci seule qui agit sur les corps composés) capables de séparer les atomes réunis par les forces d'affinité. Quand on réfléchit que ces forces sont entièrement de la nature de l'attraction qui cause la pesanteur, on ne saurait être étonné de voir leur effet s'évaluer en quantité de travail mécanique, et ce sera probablement une cause d'étonnement dans l'avenir qu'on ait autant tardé à formuler cette importante théorie. Quoi qu'il en soit, elle me paraît aujourd'hui solidement établie, et je donnerai à l'article *Production de la chaleur* le mémoire que j'ai publié sur cette importante question. Il reste aux chimistes à l'appliquer aux divers corps que l'on connaît; travail immense, mais qui, à mesure qu'il s'accomplira et fournira la vérification constante de la théorie de la permanence des puissances, comme le travail de chaque jour du chimiste prouve la permanence de la matière, nous fera pénétrer les lois, les causes de bien des phénomènes inexplicables aujourd'hui.

La chimie minérale n'a pas donné lieu, dans ces dernières années, à des travaux théoriques très-importants. Les plus beaux résultats obtenus, la préparation de l'aluminium, par exemple, sont dus à l'application très-habilement faite de principes connus, et rentrent dans l'étude industrielle, objet de cet ouvrage.

La théorie des composés du domaine de la chimie organique a fait l'objet des travaux les plus remarquables de ces dernières années, et, grâce aux efforts de MM. Dumas, Liebig, Laurent, Ghérard, s'est enfin constituée; l'insuffisance des théories de la chimie minérale nécessitait un complément indispensable.

Ce qui fait aujourd'hui le caractère particulier de cette partie de la science, c'est le nombre presque infini de substitutions, de transformations, de décompositions partielles qui permettent d'obtenir des produits de plus en plus stables, plus voisins des produits minéraux, en partant des éléments associés d'une manière particulière par l'action lente des affinités dans l'élaboration des végétaux, sous l'influence des forces vitales.

La complication de composition de la plupart des corps que l'on rencontre dans les végétaux, la facilité avec laquelle on parvient, dans nombre de cas, à remplacer dans un composé un atome d'un corps par un atome d'un autre corps très-différent, sans changer le mode de groupement, comme le montre la conservation de la forme cristalline, ont ouvert de nouvelles voies aussi importantes en théorie qu'en pratique. M. Laurent, en montrant combien la théorie du dualisme avait été exagérée, a pu en conclure que celle des substitutions devait venir occuper dans la théorie une place d'égale importance pour le moins. Au point de vue des applications, cette dernière conduit à la production, par dédoublements, substitutions, etc., de produits utiles à l'aide de substances sans valeur. Il est évident que le nombre de corps qui peuvent être ainsi obtenus, en partant de groupes très-complexes élaborés dans les êtres vivants, par des réactions lentes dans des appareils appartenant à l'organisme vital, sont, pour ainsi dire, en nombre infini, et qu'on peut espérer arriver, par bien des routes, à produire une substance précieuse. Les recherches ne pourraient se poursuivre qu'au hasard, et par suite avec bien peu de chances d'obtenir d'importants résultats, sans l'introduction dans cette partie de la science d'une notion dont de nombreux travaux ont montré toute la valeur. Nous voulons parler de l'idée de série.

Cette notion repose en réalité sur la classification en familles naturelles, si utile dans la botanique et la zoologie, et qui faisant déjà sentir son utilité dans la chimie minérale, est nécessaire à plus forte raison, au milieu de la multitude de composés qu'on étudie dans la chimie organique. En effet, cette *sériation* permet de prévoir les propriétés, l'existence même de corps inconnus, d'après celles de corps connus, et par suite de simplifier l'étude de la chimie, d'en étendre singulièrement les résultats.

Pour bien préciser cette importante méthode, qui a trouvé à s'appliquer si avantageusement dans la chimie organique, rappelons comment elle s'introduit dans la chimie inorganique.

Malgré la différence radicale qui sépare entre eux les corps simples, on a été conduit presque immédiatement par leur étude, à reconnaître entre certains d'entre eux une analogie, une similitude dans leur manière de se comporter dans les mêmes circonstances, qui ont dû les faire classer en familles naturelles. Nous nous contenterons de rappeler ici trois familles parfaitement déterminées, renfermant les principaux métalloïdes.

La première comprend les quatre corps qui ont les analogies les plus marquées : fluor, chlore, brôme et iode.

La seconde comprend également quatre corps, savoir : l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure.

La troisième comprend l'azote, le phosphore et l'arsenic, auxquels on peut encore associer l'antimoine.

Si maintenant on considère les combinaisons si nombreuses et si variées que présente l'étude des corps non métalliques, on remarquera que des analogies de composition correspondront à des analogies de propriétés. Ainsi

en prenant pour exemple l'eau, on voit que ce composé peut échanger tantôt son hydrogène, tantôt son oxygène contre certains corps simples, ou contre certains *groupes* plus ou moins complexes, en engendrant des substances qui présentent avec lui des analogies plus ou moins étroites en même temps que le même groupement mécanique.

Puisque parmi les composés qui dérivent de l'eau, par la simple substitution de certains groupes à l'hydrogène (les oxydes métalliques, les acides sulfurique, azotique, anhydre, etc.), il en est qui présentent des analogies tout aussi frappantes que celles que nous offrent le chlore, le brôme et l'iode, on est fondé à établir des *séries* comprenant des composés.

Cette *sériation* de corps analogues, dit M. Cahours dans ses *Leçons de Chimie*, présente un immense avantage dans l'étude des phénomènes chimiques en ce qu'elle permet de déduire de la connaissance parfaite des propriétés d'un des corps les plus importants de la série, de la famille, l'histoire à peu près complète des autres termes qui la composent. Une série étant donc établie, pour en faire une étude complète, le chimiste n'aura qu'à choisir le terme qui lui paraîtra le plus convenable.

Ce terme sera comme une sorte de pivot autour duquel tourneront tous les composés qui lui correspondent par leurs propriétés, leur composition, et par la similitude des métamorphoses auxquelles ils donnent naissance, par leur contact avec les différents réactifs.

Ce qui est encore propre à la chimie organique, c'est que l'immense variété de corps qu'elle étudie ne comprenant jamais que trois ou quatre éléments combinés en proportions simples, grand nombre peuvent renfermer les mêmes éléments dans le même rapport sans être nullement les mêmes. C'est du mode de combinaison des atomes 2 à 2, 3 à 3, etc. ou plutôt de cohésions entre atomes similaires, que résultent ces formations effectuées dans les appareils si délicats de l'être organisé. Ces questions sont aujourd'hui les plus difficiles de cette partie de la science, et les moyens manquent le plus souvent pour décider entre des hypothèses également probables. Je montrerai à l'article *Production de la chaleur* comment la mesure des phénomènes calorifiques apparaissant lors des combinaisons, permet d'analyser le mode de combinaison d'un composé, et par suite d'élucider cette partie encore obscure de la science.

MINÉRALOGIE.

Nous réparerons une lacune de notre premier travail, nous le compléterons ici en résumant brièvement, dans le tableau suivant, la liste des principaux produits d'ordre minéral sur lesquels s'exerce l'industrie et qui se présentent en masses considérables. Considérées au point de vue de la composition chimique et de la constitution physique des corps qui en font partie, ces séries doivent être complétées par l'indication des utilités qu'ils nous procurent, car c'est là évidemment la cause de leur exploitation; mais le classement scientifique qui facilite leur étude, doit toujours dominer comme nous l'avons expliqué, car c'est toujours à la science qu'il faut avoir recours, si on veut trouver de nouvelles ressources pour la pratique.

MINÉRALOGIE INDUSTRIELLE.

1° Roches.

Fournissant les matériaux de construction naturels.

A. Roches feldspathiques.	Granit.. / Porphyre. — Les plus durs des matériaux. — Employés dans les cas où une très-grande résistance est nécessaire.
	Ardoises. — Espèces ayant la propriété de se déliter en lits parallèles.
	Serpentines. — Servent pour l'ornementation; prennent un beau poli.
B. Roches quartzeuses.	Silex. — Pierre à fusil.
	Pierres meulières. — Meules de moulin.
	Grès quartzeux. — Pavage.
C. Calcaires.	Marbres blancs et colorés. — (Carbonate de chaux.)
	Pierres calcaires habituellement employées dans la construction.
	Anhydride. — Gypse compacte. — (Chaux sulfatée.)

Matériaux artificiels. — Matières premières résultant pour la plupart de la décomposition lente des roches, servant pour les constructions après un travail préparatoire très-simple, consistant en une simple action de la chaleur.

Chaux diverses. — Pouzzolannes. — Trass. — Arènes.
Kaolins.
Produits argileux. — Briques et poteries.

2° Combustibles et produits minéraux.

Servant dans l'économie domestique après simple extraction.

Houille. — Anthracite. — Bitume. — Lignite.
Soufre.
Eaux douces et salées. — Sel gemme.

3° Métaux.

Les propriétés des métaux en font la matière première, tant de la plus grande partie des objets d'un usage usuel que de presque tous les outils à l'aide desquels nous transformons les produits naturels pour les appliquer à nos besoins. Nous ne pouvons indiquer ici que quelques exemples des principaux minéraux; c'est dans les articles spéciaux qu'il faut chercher une liste un peu complète, et l'indication de l'âge des terrains dans lesquels ils se trouvent, à quelle époque de la formation, des révolutions du globe ils sont venus se déposer, se condenser dans les fissures lorsqu'il s'agit de filons. Les modes de formation peu nombreux rendent compte du nombre assez limité de minéraux.

Fer.	Peroxyde de fer cristallisé. — Oxydes alliés avec pierre calcaire ou argile.
Plomb.	Sulfure en filons. — Carbonate en poche.
Cuivre.	Sulfure en filons. — Carbonate et sulfate.
Étain.	Oxyde. — Se trouve dans les terrains d'alluvion.
Zinc.	Sulfure. — Carbonate en amas.
Plomb.	Sulfure en amas et en filons.
Argent.	A l'état métallique. — Combiné au plomb.
Or.	A l'état métallique dans les roches quartzeuses.
Platine.	A l'état métallique.
Mercure.	Sulfure.

4° Pierres précieuses.

Cristallisations naturelles produites pendant les révolutions du globe, utiles pour leur dureté dans les arts, pour leur éclat dans l'ornementation.

Carbone. Diamant. — Diamant noir.
Alumine. Rubis. — Corindon. — Émeraude, etc.

5° Sol.

La surface de la terre, sur laquelle s'exerce le travail agricole, où se passe la végétation, est formée des détritus de toute nature de roches. (Voyez Agriculture.)

Débris quartzeux. .	Sables.	*Débris calcaires.* . .	Terrains calcaires.
» *alumineux.* .	Argiles.	*Détritus végétaux.* .	Humus.

III. BIOLOGIE INDUSTRIELLE.

Nous donnerons pour le règne végétal et animal des tableaux analogues aux précédents, dans lesquels on peut faire entrer, sous les grandes divisions de la science, les matières premières que fournissent ces deux règnes au travail industriel. Nous n'indiquerons que quelques types pour chaque division.

BOTANIQUE INDUSTRIELLE.

Principaux végétaux utiles obtenus tant par l'action spontanée de la végétation (forêts, prairies naturelles), qu'avec l'intervention du travail humain (agriculture).

Acotylédonées. . . *Lichens, mousses, etc.* — Premier produit végétal, prépare la matière de l'existence d'autres plantes sur le sol.

MONOCOTYLÉDONÉES. *Herbes.* — Servant à la nourriture des mammifères, qui élaborent la viande qui forme la base de l'alimentation humaine.
Céréales. — Blé, seigle, riz, maïs, etc., servant à la nourriture végétale de l'homme.
Plantes sucrées. — Renfermant le sucre cristallisable. — Canne à sucre.
» *odorantes.* — Vanille.

DICOTYLÉDONÉES. *Plantes à fibres filamenteuses.* — Lin. — Chanvre.
» *tinctoriales.* — Garance.
» *féculentes.* — Pommes de terre.
» *oléagineuses.* — Pavot. — Colza.
» *légumineuses.* — Haricots. — Pois. — Lentilles.

ARBRES ET ARBUSTES.

DICOTYLÉDONÉES. *Feuilles.* — Thé. — Indigo. — Tabac.
Bois. — Variétés très-nombreuses. — Espèces communes, employées comme combustibles. — Espèces résistantes, emplois : construction, menuiserie, charpente. — Chêne. — Orme.
Bois colorés. — Acajou. — Palissandre. — Thuya. — (Ébénisterie.)
» *tinctoriaux.* — Campêche. — Sandal.
Écorces. — Liége. — Sparterie.
Fleurs. — Fleurs d'oranger. — Rose. — Jasmin, etc.
Fruits. — Vigne. — Olivier. — Pommier, etc.
Accessoires filamenteux de certaines graines. — Coton.
Exsudations et produits de la séve. — Gommes. — Résines. — Caoutchouc. Gutta-percha.

ZOOLOGIE INDUSTRIELLE.

L'intervention du travail humain est ou nulle ou réduite à faciliter les conditions d'existence des animaux.

Zoophytes et Mollusques.

Utilisés comme aliment et quelquefois pour leurs enveloppes calcaires :

Moules. — *Huîtres.* — *Éponges.* — *Corail.* — *Nacre.* — *Écaille.*

Insectes.

Sangsues. — Usage médicinal.
Abeilles. — Cire et miel.
Cochenille. — Servant à préparer le carmin.
Ver à soie. — Soie.

Vertébrés.

Laissant de côté les différences qui subsistent entre les espèces et l'utilité mécanique des animaux qu'on peut faire travailler, comme le cheval et le bœuf, nous considérerons les éléments qu'ils fournissent au travail industriel, point de vue auquel nous devons surtout nous placer ici.

Viande. Lait. Œufs. — Base de l'alimentation humaine.
Poils. — Laine. — Matières premières pour tissus.
Plumes. — Duvets.
Peaux. — Tissus naturels.
Os. — Ivoire.
Graisse. — Suifs.
Huile. — Huile de baleine.
Corne. — Écaille.

Excrements et décomposition des produits végétaux et animaux privés de vie, formant engrais, fumiers, guanos, etc., restituant au sol les éléments nécessaires à la production que les récoltes avaient enlevés; d'où la rotation à l'aide de laquelle l'importance de la production végétale et animale, au lieu de s'amoindrir, va toujours croissant par une utilisation plus complète et plus rapide des produits de la décomposition des matières organiques, et la fixation, sous forme de substance végétale, d'éléments du règne inorganique, du carbone provenant de l'acide carbonique de l'air principalement.

IV. MÉCANIQUE INDUSTRIELLE.

La presque totalité de cet ouvrage est consacrée aux progrès de tous genres qui s'accomplissent chaque jour dans la construction des machines. L'invention de nouvelles machines pour effectuer les travaux faits jusqu'ici à la main se multiplie surtout avec une rapidité admirable qu'explique l'état avancé de cette partie de la science industrielle.

V. GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE.

Nous rapporterons ici une belle page, c'est la préface de la Géométrie descriptive de G. Monge, un des maîtres qui ont le plus fait pour pousser en avant la nation française par la culture des sciences et l'application des bonnes méthodes. Aussi respire-t-elle l'esprit du véritable progrès, et elle mérite à tous égards d'être conservée précieusement.

« Il faut, dit-il, diriger l'éducation nationale vers la connaissance des objets qui exigent de l'exactitude, ce qui a été totalement négligé jusqu'à ce jour, et accoutumer les mains de nos artistes au maniement des instruments de tous les genres, qui servent à porter de la précision dans les travaux et à mesurer ses différents degrés..... »

L'art de la géométrie descriptive a deux objets principaux : le premier est de représenter avec exactitude, sur des dessins qui n'ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois, et qui sont susceptibles de définition rigoureuse.

Sous ce point de vue, c'est une langue nécessaire à l'homme de génie qui conçoit un projet, à ceux qui doivent en diriger l'exécution, et enfin aux artistes qui doivent eux-mêmes en exécuter les différentes parties.

Le second objet de la géométrie descriptive est de déduire de la description exacte des corps tout ce qui suit nécessairement de leurs formes et de leurs positions respectives. Dans ce sens, c'est un moyen de rechercher la vérité; elle offre des exemples perpétuels de passage du connu à l'inconnu; et parce qu'elle est toujours appliquée à des objets susceptibles de la plus grande évidence, il est nécessaire de la faire entrer dans le plan d'une éducation nationale. Elle est non-seulement propre à exercer les facultés intellectuelles d'un grand peuple et à contribuer par là au perfectionnement de l'espèce humaine, mais encore elle est indispensable à tous les ouvriers, dont le but est de donner aux corps certaines formes déterminées; et c'est principalement parce que les méthodes de cet art ont été jusqu'ici trop peu répandues, ou même presque entièrement négligées, que les progrès de notre industrie ont été si lents.

On contribuera donc à donner à l'éducation nationale une direction avantageuse, en familiarisant nos jeunes artistes avec l'application de la géométrie descriptive aux constructions graphiques, qui sont nécessaires au plus grand nombre des arts, et en faisant usage de cette géométrie pour la représentation et la détermination des éléments des machines, au moyen desquelles l'homme, mettant à contribution les forces de la nature, ne se réserve pour ainsi dire, dans ses opérations, d'autre travail que celui de son intelligence.

ART INDUSTRIEL.

L'art industriel, les applications des beaux-arts à l'industrie avaient jusqu'ici été complétement laissés de côté dans notre œuvre. Préoccupés trop exclusivement des procédés techniques, comme toutes les personnes qui avaient avant nous écrit sur l'industrie, nous avions négligé toutes les questions qui se rapportent à l'élégance des formes, à l'harmonie des proportions et des couleurs. C'était là une lacune regrettable que j'ai tenté de faire disparaître par l'étude qui termine ce volume. Il est facile d'en faire apprécier l'utilité et de montrer que ce devait être la fin nécessaire de notre œuvre, comme on devait la commencer par les sciences.

Il n'est pour ainsi dire pas de fabrication qui n'exige l'emploi de la faculté que nous appelons le goût, pour laquelle il suffise de remplir des conditions de solidité, d'économie. Qu'on jette un coup d'œil sur la plupart, et on aura bientôt reconnu que l'art entre pour une grande part dans la production industrielle, et c'est souvent la plus importante; il n'est pas de fabricant qui, à un point de vue spécial, ne l'ait senti. Il me suffit, pour le prouver, d'indiquer quelques cas pour lesquels aucune contestation n'est possible, de citer l'orfévrerie, les bronzes, les meubles, les poteries, les étoffes. Pour tous ces produits, la bonté de la fabrication ne suffit pas; il faut compléter l'œuvre par l'élégance des formes, le charme des décorations. C'est la condition essentielle de supériorité pour les individus comme pour les nations qui veulent exporter au loin les produits de leur industrie; c'est la cause la plus certaine du succès de la plupart des grandes fabrications de la France.

S'il n'est pas d'industriel qui n'ait eu à se poser ces questions relativement à l'élégance, au bon goût de ses produits, il n'en est pas non plus qui n'ait aussi éprouvé de déception, en reconnaissant l'impossibilité de trouver un ouvrage qui lui enseignât les notions fondamentales de l'art industriel que pratiquent avec tant de supériorité quelques artistes éminents. Certes il existe quelques intéressantes collections de dessins; mais, sans vouloir les juger ici, l'absence de texte et par suite d'indication du moindre principe, montre que leur conception se rapporte à un point de vue trop éloigné de l'enseignement; aussi sont-elles presque complétement inutiles dans la plupart des cas, lorsqu'il s'agit d'autre chose que d'y trouver des modèles.

L'idée de l'intervention de l'art dans l'industrie est assez nouvelle, et jusqu'ici la science industrielle a été considérée par les esprits distingués qui ont vu autre chose que l'habileté manuelle ou des collections de recettes dans le savoir des fabricants, comme reposant exclusivement sur la connaissance des sciences pures. Aujourd'hui il n'en est plus ainsi, et l'importance de l'art est, depuis quelques années, devenue une idée populaire, grâce aux grandes expositions universelles de Londres et de Paris, qui, en mettant en présence les produits des diverses nations, ont montré combien quelques-unes brillaient par le bon goût et l'élégance. Aussi, sans s'aveugler par un sot amour-propre, l'Angleterre, avec son éminent bon sens, ayant vu clairement à l'Exposition de Londres tout ce qu'elle avait à faire dans cette voie, a fondé aussitôt les musées de Sydenham, de Marlborough-House, ainsi qu'un très-grand nombre d'écoles de dessin. Elle a parfaitement compris qu'il s'agissait d'une condition vitale de succès pour sa puissante industrie, si admirable au point de vue technique, mais qui était dépassée par des nations rivales au point de vue artistique. Elle a senti que l'avenir d'une partie de son immense commerce d'exportation était en jeu, et elle s'est mise à l'œuvre pour obtenir encore cette condition de succès. L'Exposition de 1855 a montré qu'elle avait rapidement accompli d'importants progrès.

Le caractère le plus saillant de celle-ci a été de faire briller l'état avancé de l'art industriel à l'époque actuelle. Celui-ci a même pris une si grande place qu'une réaction s'est fait sentir à la fin contre le rôle trop prépondérant, trop exclusif qu'on lui faisait jouer.

Sans nier ce qu'il y a de fondé dans les reproches adressés aux Expositions de mettre en lumière des pièces exceptionnelles, des tours de force qui ne sont pas de l'industrie, je dirai seulement qu'il était impossible d'imaginer de spectacle plus favorable que celui que présente une Exposition universelle pour constater l'état avancé de l'art industriel à notre époque, pour enregistrer les arrêts de l'Europe en fait de goût. Sans les ressources qu'elles m'a fournies, je n'eusse jamais pu mener à bien cet essai. C'est surtout dans les visites à l'Exposition de Paris que se sont manifestées clairement à mes yeux les quelques règles que j'ai osé établir; c'est à ce grand spectacle que j'ai pu prendre les dessins d'œuvres consacrées par la voix publique comme des chefs-d'œuvre.

En consultant les comptes rendus qu'a fait naître cette Exposition, j'ai trouvé dans tous

une confirmation éclatante de la méthode historique que j'ai suivie dans mon étude sur l'art industriel; la seule, comme je l'établis dès le début, qui puisse fournir une base solide à une étude profitable de l'art. En effet, aucun n'a traité d'une industrie artistique sans parler d'abord de l'éclat qu'elle a pu jeter aux grandes époques de l'humanité, sans y puiser des points de comparaison nécessaires. Or ces indications sans les monuments à l'appui, sont de minime intérêt et peu profitables; avec leurs représentations, elles forment la base de toutes les connaissances relatives à l'art. C'est cette étude fondamentale de la tradition, sans laquelle on ne peut rien formuler de sérieux et qui est toujours à refaire, que je tente de rendre définitive et vraiment instructive, en l'appuyant des gravures des monuments et des produits industriels les plus remarquables à chaque époque.

Quant à ces époques mêmes, je n'ai pas besoin de justifier ici le choix que j'ai fait de celles qui ont toujours été considérées comme les plus mémorables dans la vie de l'humanité. Les divisions que j'établis sont celles auxquelles on arrive forcément toutes les fois que l'on cherche à reconnaître les moments de plus grande splendeur de la civilisation; ce sont celles que l'on admet, par exemple, pour la littérature : c'est la Grèce de Démosthène, de Platon, de Sophocle; c'est la Rome de Virgile, d'Horace; c'est le Moyen âge de l'Imitation, de Froissart; la Renaissance du Dante, de Pétrarque; le siècle de Racine, de Corneille; celui de Voltaire, de Rousseau. Enfin, c'est l'époque actuelle avec sa passion pour l'art, dans toutes ses manifestations.

On ne saurait être étonné de voir que la méthode à suivre pour s'avancer quelque peu dans un ordre de connaissances tout différent des connaissances scientifiques soit tout autre que celle qui nous a guidé pour les autres parties de cet ouvrage. Il suffit pour le comprendre facilement de réfléchir à la nature du genre de notions auquel appartient l'esthétique, dont relèvent les règles qui dominent les beaux-arts, c'est-à-dire à une théorie essentiellement d'ordre moral, philosophique, toute autre que celui des sciences positives, et qui, dans une classification universelle des connaissances humaines, si les sciences positives forment le point de départ, doivent être placés à l'extrémité et couronner l'édifice. D'après cela et en laissant de côté les parties positives, techniques des beaux-arts, fort importantes et que nous avons eu soin de ne pas négliger, ce n'est plus l'expérimentation physique aidée de la déduction pure, c'est l'étude des aspirations successives qui ont passionné l'humanité, c'est l'ordre historique qui peut seul mener à quelques résultats. Mais malheureusement il résulte de ce que les règles ne se déduisent pas d'un premier principe qu'on ne peut formuler des résumés aussi satisfaisants, établir des règles aussi positives que celles que fournit l'application des sciences exactes au travail industriel. Toutefois, l'on peut espérer dans un semblable travail : fournir un utile point de départ, montrer la voie pour des recherches ultérieures, enfin, guider et épurer le goût, c'est-à-dire, ce qui varie le plus avec l'individu, en réunissant ce qu'il est possible de formuler de plus incontestable, et ainsi sûrement tout au moins faire éviter de grossières erreurs en signalant les écueils.

COMPLÉMENT DU DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

A

ABAQUE. La fig. 3400 représente un petit appareil employé par les anciens et aujourd'hui encore par les Russes et les Chinois pour opérer les calculs. L'aspect de la figure suffit pour faire comprendre l'emploi des boules représentant les chiffres des nombres qui glissent sur des tringles qui les traversent.

3400.

Chaque ligne représentant les unités, dizaines, centaines, on écrit un nombre en repoussant vers la gauche, dans chaque colonne, le nombre d'unités de chaque espèce qui composent ce nombre. Ainsi, dans la disposition de la figure, le nombre écrit est 2706434. On effectuera une addition d'un nombre quelconque avec un nombre figuré de la sorte, en cherchant à l'écrire à la suite du premier en commençant par les unités simples, c'est-à-dire en ajoutant ensemble les unités de même ordre et reportant les retenues d'une colonne à la suivante, absolument comme dans les procédés ordinaires de l'addition.

M. L. Lalanne, ingénieur des ponts et chaussées, a construit un tableau graphique auquel il a donné également le nom d'Abaque, qui offre des propriétés curieuses. Il consiste dans un tableau rectangulaire, fig. 3401, dont les côtés à angles droits sont divisés en longueurs proportionnelles aux logarithmes des nombres 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Il est clair que par l'emploi des lignes parallèles aux côtés, menées par les points de division, et celui des lignes à 45° passant par les points d'intersection des premières, pour revenir lire le chiffre marqué sur un des côtés (ce qui fournit l'addition des deux longueurs tracées sur les côtés du tableau), on trouvera les points correspondants à la somme des logarithmes et par suite aux produits des deux nombres lus sur les deux lignes extérieures. Inversement la division de 6 par 2 s'obtiendra en suivant l'oblique 6 jusqu'à la rencontre de l'horizontale 2, le chiffre 3 correspondant à la verticale passant par le point de rencontre sera le quotient.

On voit que cet Abaque possède les propriétés de la règle à calcul, et qu'en considérant les chiffres latéraux comme appartenant à des unités d'un ordre élevé, on peut faire avec son aide, et à simple vue, des calculs assez compliqués (Voir CALCULER (MACHINE A)). Mais, de plus, il a sur la règle certains avantages. Ainsi une ligne inclinée à 1 sur 1, d'un angle à l'autre du carré, donnera, en suivant l'oblique passant par un nombre jusqu'au point de rencontre de cette ligne, le nombre dont la racine carrée se trouvera au point de départ de la verticale passant par ce même point. Inversement les graduations de cette ligne donneront le nombre dont le carré sera indiqué par l'oblique qui passe par le point de rencontre avec la verticale du départ.

On trouvera de même les racines cubiques à l'aide d'une ligne inclinée sur 2 de hauteur pour 1 de base; les racines cinquièmes à l'aide des lignes inclinées à 1 de base pour 4 de hauteur; le volume de la sphère à l'aide d'une ligne parallèle à celle des cubes tracée à une distance de l'origine égale au log. de $\frac{4}{3}\pi$. Nous renvoyons pour les détails du maniement de cet Abaque, et la discussion de l'ordre des unités considérées dans les calculs entre nombres de plusieurs chiffres, à l'instruction spéciale publiée par l'auteur.

M. Lalanne a remarqué que les résultats ainsi obtenus appartenaient à une théorie générale de géométrie à laquelle il a donné le nom d'*anamorphique*, et dont plusieurs applications importantes avaient déjà été faites, et peuvent se faire chaque jour dans l'industrie; la plus célèbre notamment est celle faite aux cartes marines, connue sous le nom de Projection de Mercator. (Voir NAVIGATION.) Nous entrerons dans quelques détails à cet égard.

Depuis Descartes on sait qu'une courbe est propre à représenter les relations entre deux quantités variables (Voir *Introduction*), et cette vue de génie a permis de remplacer les tableaux représentant les relations de deux quantités liées entre elles, par des courbes.

De même une table numérique à double entrée représente un grand nombre de cas particuliers de la loi suivant laquelle une quantité variable dépend de deux autres, et on est conduit naturellement, par analogie avec le cas précédent, à l'idée de la remplacer par une surface courbe pour représenter la dépendance mutuelle qui existe entre trois quantités variables, la loi même qui réunit les trois quantités.

Or, comme nous l'avons vu en parlant du nivellement (Voir LEVÉ DES PLANS), le moyen de représenter sur un plan une surface courbe consiste à projeter sur ce plan les courbes successives qui sont les intersections de la surface par des plans parallèles au plan de projection, et à indiquer par une cote leur distance à ce plan.

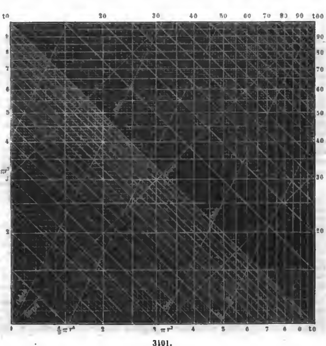
Ces courbes représentent des équations à deux variables que donne l'équation à trois variables de la sur-

face, lorsqu'on donne une certaine valeur à la variable perpendiculaire au plan de projection.

Tout ceci n'est que le résultat des principes fondamentaux de la géométrie analytique. Mais ce qui appartient à l'ordre de conception que nous étudions ici, c'est ce que nous appellerons la *Graduation des Coordonnées*, qui fournit le moyen de remplacer dans nombre de cas des tables à double entrée par des constructions graphiques très-simples.

Les courbes dont nous avons parlé plus haut sont représentées par certaines équations, qui supposent en général que les axes des coordonnées sont divisés en longueurs égales correspondant aux nombres 1, 2, 3, etc. Mais si on gradue les coordonnées suivant une loi déterminée, les nouvelles coordonnées x', y' d'un point sidérons l'équation qui indique le produit de deux nombres $z = xy$, on sait que cette équation représente une surface dite hyperboloïde à une nappe, dont les différentes intersections seraient difficiles à tracer. Mais si l'on remplace ces quantités par leurs logarithmes, si on pose $x' = \text{Log. } x$, $y' = \text{Log. } y$, on aura $\text{Log. } z = x' + y'$.

Or, on sait que l'équation $x + y = a$, représente une ligne inclinée à 45° sur les axes des coordonnées. Toutes les lignes de niveau de la surface, dont l'équation est $z = xy$ deviendront donc des lignes droites parallèles entre elles et inclinées à 45° sur les axes des coordonnées, par le fait seul que les axes auront été gradués suivant les logarithmes des nombres naturels, au lieu d'être divisés en parties égales.



3101.

seront dans un rapport connu, avec les coordonnées ordinaires x, y; autrement dit x' sera une fonction de x, y' une fonction de y. Si donc dans l'équation on remplace x et y par leurs valeurs en x' et y', on aura une nouvelle équation de courbe, et si la graduation est déterminée convenablement, une courbe plus simple que celle obtenue d'abord.

Ce résultat est surtout important lorsqu'il permet de remplacer des courbes par des lignes droites dont l'espacement varie.

C'est ce que l'on obtient dans le cas remarquable par ses nombreuses applications pratiques où il s'agit du produit d'x et d'y, en prenant les logarithmes des nombres au lieu de ceux-ci; tel est le cas de l'abaque décrit ci-dessous. En effet, si nous con-

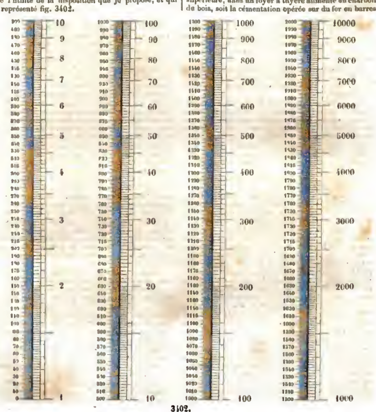
Les graduations suivant les logarithmes sont celles qui présentent le plus de cas d'applications en permettant de construire des abaques qui se rapportent aux produits de plusieurs quantités. On a pu ainsi construire des abaques pour le poids des fers, le calcul des intérêts, la conversion des numéros des fils anglais en numéros français, etc.

M. Lalanne a appliqué le principe de la graduation des coordonnées à l'exécution de tableaux ne renfermant que des lignes droites, pour l'évaluation du calcul des déblais et remblais pour la construction des chemins de fer. (Voir *Annales des ponts et chaussées, année* 1846.)

ÉCHELLE LOGARITHMIQUE. Tous les moyens d'employer les divisions logarithmiques, tant la règle à calcul opérant par glissement de la coulisse que

l'Abaque ci-dessus, se réduisent à des moyens d'ajouter des longueurs déterminées, ou d'en soustraire une d'une autre. Ils offrent toujours quelqu'embarras dans la pratique, pour déterminer le nombre de chiffres d'un produit ou d'un quotient, suivant l'ordre des unités qu'on a fait représenter par les divisions de l'échelle. L'embarras qui en peut résulter pour les calculs assez simples (pour ceux plus compliqués, des tables de logarithmes seront toujours préférées) peut être évité par la disposition représentée ci-dessous, à l'aide de laquelle toutes les opérations dans lesquelles on ne considère pas de nombres supérieurs à 10,000, sont obtenues directement.

Il est facile de montrer par quelques exemples la simplicité de cette application des logarithmes, et par suite l'utilité de la disposition que je propose, et qui est représenté fig. 3402.



3402.

La multiplication et la division se réduisent à l'addition et à la soustraction des nombres placés à gauche, l'élévation à une puissance ou l'extraction d'une racine à une multiplication ou à une division simple par l'exposant de la puissance. Soit par exemple à extraire la racine 5e de 9,000. Le chiffre des divisions de gauche correspondant à 9,000 sera sensiblement 1978,5 dont le 5e est 395,7. Cette division nous reporte à une division qui tombe entre 6,1 et 6,2 et fournit à vue environ 6,17 ou 6,18. Le premier nombre élevé à la 5e puissance donne 8941, le second 9013. On a donc toute l'exactitude qui peut être obtenue par l'emploi de semblables échelles, et cela avec une grande facilité, même pour des opérations très-compliquées.

ACIER PUDDLÉ. Les procédés de fabrication directe de l'acier au four à puddler ne sont pas encore vulgarisés; les renseignements que renferme le rapport du Jury de 1855, sont toutefois suffisants pour bien faire comprendre en quoi consiste ce mode de travail.

Jusqu'à ces derniers temps, on n'a pratiqué que deux manières d'obtenir de l'acier, soit l'élaboration de fontes spéciales et quelquefois de minerais de fer de qualité supérieure, dans un foyer à tuyère alimenté au charbon de bois, soit la cémentation opérée sur du fer en barres de premier choix. Le combustible minéral, sauf pour le chauffage des caisses de cémentation, était exclu d'une manière absolue; l'emploi des fourneaux à réverbère ne paraissait pas possible.

Le prix de l'acier se ressentait de ces conditions de fabrication, et en restreignait beaucoup l'emploi. Or, la tendance de beaucoup d'industries est, au contraire,

d'employer cette matière sur une échelle de plus en plus grande. Déjà, dans un ouvrage publié en 1839, un des ingénieurs qui ont été les premiers à s'occuper des chemins de fer en France, M. Séguin aîné, émettait l'idée que l'acier fondu pourrait être substitué au fer forgé pour la confection des rails. « Je n'ignore pas, disait-il, que le prix élevé de cette matière est une barrière insurmontable à son application actuelle aux chemins de fer. Mais s'il était constaté qu'il satisfait pleinement à toutes les conditions, celle de prix exceptée, désirables pour le service des chemins de fer, ne serait-il pas possible que cet immense débouché qui lui serait offert et les chances de bénéfice qui en seraient la conséquence, appelant sur ce point l'attention des hommes entreprenants, amenassent bientôt quelque découverte qui ajouterait un élément nouveau à ceux dont dispose l'industrie? »

Cette prévision s'est réalisée.

Si l'acier n'est pas encore employé pour rails, il commence à l'être pour bandages sur une assez grande échelle; il l'est également pour cylindres de laminoirs, pour ressorts de wagons et pour beaucoup de pièces de machines.

La demande a donc singulièrement augmenté depuis quelques années, et, comme cela arrive ordinairement en industrie, la demande même a fait éclore les moyens d'y satisfaire.

Ces moyens consistent dans la substitution du puddlage au procédé d'affinage dans le foyer ordinaire. C'est, en un mot, l'application à la fabrication de l'acier des méthodes économiques qui ont eu des résultats si considérables dans la fabrication du fer, et qui, après avoir semblé longtemps réservées aux forges à la houille, tendent aujourd'hui, comme nous le dirons ailleurs, à se naturaliser dans les forges alimentées au combustible végétal.

Les premiers essais de puddlage pour acier remontent déjà à quelques années.

M. Stengel, directeur des forges royales de Lohe, près Siegen (Prusse), et MM Soly et fils, maîtres de forges dans le Staffordshire, sont entrés dans cette voie vers 1838 ou 1840; mais ils n'ont pas obtenu, à ce qu'il paraît, de résultats manufacturiers. Quelques années après, les essais ont été repris dans plusieurs usines, en Belgique et en Prusse, et auteurs d'ailleurs d'assez de mystère pour qu'il soit aujourd'hui difficile, sinon impossible, de dire à qui revient l'honneur de la première réussite, qui aujourd'hui n'est plus douteuse. La fabrication au four à puddler, soit du fer à grains aciéreux, soit de l'acier proprement dit susceptible d'être fondu, a lieu maintenant d'une manière courante dans plusieurs établissements importants, non-seulement en Belgique et dans la Prusse rhénane, mais encore en Autriche et jusque dans la Suède. Il est sans doute peu probable qu'on obtienne par là des aciers de premier ordre, équivalents à ceux pour lesquels les premières marques de Suède ont paru nécessaires jusqu'à ce jour. Mais ces qualités exquises et exceptionnelles sont inutiles pour les nouveaux emplois que l'on prévoit pour l'acier, et d'ailleurs il paraît qu'on peut, avec les nouveaux procédés, donner à l'acier des propriétés telles que son emploi, même pour des usages assez délicats, comme la fabrication des limes et des outils, donne d'assez bons résultats.

Le puddlage pour acier diffère du puddlage ordinaire pour fer, soit par la construction même du four, soit par la conduite de l'opération.

Il paraît qu'il faut une voûte plus surbaissée pour mieux concentrer la chaleur, que le travail doit être conduit très-lentement, se faire à la plus haute température possible, sous un bain de scories, avec une flamme aussi peu oxydante que possible. Au Creuzot on a trouvé grand avantage à appliquer un courant d'air forcé au four à puddler, dont le cendrier est clos hermétiquement. Cet emploi d'un courant d'air forcé a paru nécessaire pour obtenir facilement la haute température que réclame le puddlage pour acier, avec les charbons dont on disposait. Il paraît aussi qu'au moins dans plusieurs établissements, on ajoute, en certaines proportions, divers mélanges, et notamment du sel marin et du peroxyde de manganèse, dont la réaction mutuelle dégage du chlore favorable à la séparation du soufre et des autres matières étrangères, tandis que le manganèse accroîtrait la propension aciéreuse de la matière élaborée. Ces mélanges variant selon la nature des fontes mais leur élément essentiel est toujours le manganèse, qui donne des silicates, des scories fusibles qui ne sont pas réductives, qui rendent la réduction pendant le puddlage plus lente que dans le cas ordinaire, lorsqu'on affine la fonte pour produire du fer.

AGRAFES. Les agrafes constituent un accessoire de toilette, un moyen de réunir et séparer à volonté des parties des vêtements, qui étaut consommées en quantités très-considérables peuvent fournir la base d'une fabrication mécanique. C'est un problème qui a été admirablement résolu par M. Gingembra, avec de petites machines qui sont des chefs-d'œuvre de mécanisme automatique. Jusqu'en 1843 on ne connaissait que trois manières de faire les agrafes : l'agrafe ronde, l'agrafe plate du bout et l'agrafe entièrement plate. Toutes les trois offraient de grandes difficultés dans leur exécution; et, outre la perte d'un temps précieux qu'on avait à regretter, la main-d'œuvre était très-longue et très-fatigante pour l'ouvrier, ne lui procurait que des salaires insuffisants, et cependant le prix des agrafes était relativement très-élevé. L'agrafe ronde, la plus facile à produire et la plus répandue dans le commerce, avait une forme sans élégance, et n'offrait pas toutes les garanties de solidité. L'agrafe plate du bout, plus généralement en usage dans le midi de la France et en Espagne, offrait des difficultés plus sérieuses encore, comme travail à la main, car elle devait subir trois opérations : la coupe droite, le redressage pour aplatir le bout et le recourbage du crochet. L'agrafe entièrement plate exigeait les mêmes opérations, avec la différence que l'action du battage, qui s'effectuait sur toute la longueur de l'agrafe, écrouissait le fil, le rendait cassant et ne donnait qu'un mauvais produit.

Il était réservé à M. Gingembre d'opérer une heureuse révolution dans cette importante industrie; de la relever de l'état léthargique dans lequel elle était demeurée jusqu'à l'époque précitée, et d'en faire partager les bienfaits au commerce à la fois et aux consommateurs, car elle livre aujourd'hui ses produits à 60 et 80 pour cent au-dessous des prix anciens. La fabrication mécanique de l'agrafe plate découpée dans une feuille de laiton était relativement facile, aussi a-t-elle été réussie par plusieurs inventeurs. Mais l'honneur d'avoir fabriqué mécaniquement celle formée avec le fil de laiton replié appartient entièrement à M. Gingembre.

Dès 1843, il a construit une machine admirable; cette machine réduit toutes les opérations que nous avons énoncées plus haut à une seule, et tout en donnant des produits supérieurs dont l'exécution est irréprochable, elle offre l'avantage de supprimer tout déchet, toute cassure à la courbure du crochet, parce qu'elle a résolu le problème de ne frapper l'agrafe qu'après que l'agrafe même est formée. Ainsi, le bec du crochet, le corps et les deux anneaux reçoivent seuls l'écrouissage, tandis que le fil ne s'aplatit pas à la courbure et conserve toute sa force.

La machine de M. Gingembre et les nouveaux procédés d'argenture mis en œuvre par lui, ont créé une

nouvelle branche d'industrie, dont les produits, appropriés aux besoins et aux habitudes des différents peuples, se répandent dans toutes les parties du monde. Cette ingénieuse machine exécute, avec la régularité la plus parfaite et en une seule passe, toutes les opérations qu'un fil de cuivre doit subir pour se transformer en agrafes; elle saisit le fil, l'entraîne, le redresse, le coupe, le double, forme les yeux, replie le crochet, le pousse sous le marteau qui doit l'aplatir, le frappe, et le chasse pour faire place à celui qui le suit. MM. Gingembre et Damiron possèdent actuellement quatre-vingts machines commandées par la vapeur, et dont chacune fait de 80 à 200 agrafes à la minute, suivant ses dimensions; elles produisent ensemble 8 à 900 kilogrammes d'agrafes par jour. De 2 francs et plus, le prix de façon d'un kilogramme d'agrafes a été réduit à 5 ou 6 centimes en moyenne.

AIMANT. (*ang.* loadstone, *all.* magnet). L'antiquité connaissait une pierre qui a la propriété d'attirer le fer à distance. Ce minerai est un oxyde de fer, fig. 3403.

Le fer en contact avec l'aimant jouit des mêmes propriétés que celui-ci, mais cette action cesse avec le contact. Au contraire une aiguille ou un barreau d'acier conserve l'aimantation qui lui a été communiquée par contact.

3403.

L'attraction d'un barreau aimanté s'exerce par des centres d'action dits pôles, placés sur les extrémités et quelquefois plus nombreux, mais toujours en nombre pair et placés à égale distance du centre. On le reconnaît facilement en plaçant ce barreau dans de la limaille de fer qui s'y attache, les grands axes des petites paillettes de fer se dirigeant vers les pôles, fig. 3404.

3404.

Un morceau d'acier aimanté possède aussi, comme la pierre d'aimant, la faculté de communiquer sa vertu magnétique à un autre barreau; il suffit, pour obtenir ce résultat, de frotter dans toute sa longueur, et toujours dans le même sens, contre l'un des pôles de l'aimant, le barreau qu'on veut aimanter.

Les barreaux sont ordinairement prismatiques; on leur donne quelquefois la forme d'un fer à cheval pour rapprocher les deux pôles; si l'on veut accroître les effets on en superpose plusieurs les uns sur les autres. Ils sont alors capables d'attirer de grandes masses de fer et de supporter des poids de 25 ou 50 kilog. sans qu'un poids aussi considérable puisse détacher de leurs pôles le fer qui y est adhérent, fig. 3405.

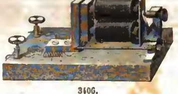
3405.

Nous avons décrit à l'article Aiguilles, l'ingénieux emploi fait de masques en acier aimanté pour empêcher la poussière de fer des aiguiseries de pénétrer jusqu'aux organes respiratoires des ouvriers.

La science a donné un moyen tout différent de ceux autrefois connus, pour produire des aimants, qui a un immense intérêt en ce qu'il a donné la clef des phénomènes si obscurs du magnétisme. Si l'on enroule un fil métallique en hélice et que l'on place un barreau d'acier dans l'axe de cette hélice, en faisant passer dans le fil une forte décharge électrique, le barreau sera parfaitement aimanté. C'est sur cette belle expérience d'Arago, qu'Ampère a fondé sa belle théorie du magnétisme terrestre, adoptée universellement aujourd'hui par tout le monde savant.

Cette propriété des courants électriques d'aimanter les barres d'acier, s'applique également au fer doux, seulement l'aimantation n'est que temporaire et cesse avec le courant. Avec une longueur suffisante de fil (couvert de soie) enroulé autour du fer et des courants de piles énergiques, on a pu faire porter jusqu'à 1,000 kilog. à un barreau de fer doux. On appelle *Électro-aimants* ces aimants temporaires pour les distinguer des aimants d'acier permanents.

Plusieurs articles de cet ouvrage, et notamment l'article Télégraphie, indiquent de nombreuses applications des Électro-aimants comme moyen de transmettre instantanément un travail à une grande distance, et de multiplier les indications avec une rapidité qui n'est limitée que par le temps qu'exige le fer doux pour acquérir et perdre son aimantation. Un élégant petit appareil construit par M. Froment, que nous représentons figure 3406, montre que cette durée



3406.

est très-petite. Il consiste en un petit électro-aimant dont l'armature, qui se compose d'une plaque de fer très-légère, peut osciller entre les pôles d'une part, et un arrêt d'autre part, contre lequel un ressort tend à la faire appuyer. Un courant électrique introduit dans l'appareil passe par la plaque de fer et son arrêt, de telle façon que le circuit soit interrompu dès que les deux pièces se séparent. Cet effet se produit de lui-même en interposant dans le circuit le fil qui entoure l'électro-aimant, car celui-ci attire alors la plaque de fer doux qui, en se séparant de son arrêt, interrompt le passage du courant; aussitôt l'aimantation cesse, la lame de fer, poussée par le ressort, retourne frapper l'arrêt et fermer de nouveau le circuit; nouvelle aimantation, nouvelle interruption du circuit et ainsi de suite avec une rapidité qu'on est maître de régler et qui peut atteindre plusieurs milliers de battements par seconde. En tournant les vis qui servent à régler l'amplitude de la vibration et la force du ressort, on fait rendre à l'instrument tous les sons de l'échelle musicale, ce qui permet d'en déduire le nombre de vibrations.

ALLIAGES. Un excellent travail sur les alliages, dû à un habile expérimentateur M. Wertheim, dirigé dans la voie que nous avions indiquée, fournit enfin quelques mesures, quelques éléments de comparaison numérique entre ces intéressants composés. Nous allons rapporter les résultats de ce précieux travail, en y intercalant quelques observations utiles pour la pratique, extraites surtout d'un travail de M. Guettier, sur les propriétés des alliages, et en partie de nos propres observations.

Nous ferons remarquer que malgré toute l'habileté de l'expérimentateur et la précision des résultats de l'analyse élémentaire des alliages, des erreurs assez notables se glissent facilement dans un semblable travail à cause de la difficulté qui consiste à préparer les alliages atomiques sur lesquels on fait porter avec raison les observations. Un trop fort chauffage, une préparation préalable d'un alliage dont on croirait abaisser le titre en ajoutant une quantité supplémentaire d'un des métaux, sont autant de causes qui font de l'alliage que l'on considère, non pas l'alliage atomique que semble indiquer l'analyse chimique, mais un mélange d'alliages de titres très-différents, d'alliages et de métaux purs. Il se présente dans les alliages le phénomène qui se rencontre si fréquemment dans la chimie organique, où souvent des liquides se trouvant formés de composés très-différents sans que la composition totale puisse être jugée différente par l'analyse chimique.

Nous donnons d'abord les résultats des observations de M. Wertheim sur les métaux purs. Outre la valeur propre de ces nouvelles observations, elles doivent précéder celles qui se rapportent aux alliages, étant obtenues par les mêmes moyens d'expérimentation et permettant d'en contrôler la valeur par la comparaison avec la moyenne des meilleures expériences que l'on possède déjà.

Alliages de l'aluminium. — Avant de reproduire les résultats de l'étude des alliages connus, nous dirons un mot de ceux que vient de fournir un nouveau métal, qui grâce au perfectionnement du procédé d'extraction peut être introduit dans la pratique de l'industrie. Une semblable conquête est précieuse non-seulement par les usages auxquels les propriétés spéciales du nouveau métal permettent de l'appliquer, mais aussi parce qu'il permet d'obtenir toute une nouvelle série de composés métalliques résultant des alliages qu'il peut former avec les autres métaux industriels. Nous voulons parler de l'aluminium et de ses alliages, dont l'étude est loin d'être encore complète.

L'aluminium, comme le zinc, supporte difficilement les métaux étrangers, qui, en lui communiquant de la dureté, lui retirent en grande partie sa ductilité et sa malléabilité. Il suffit, en effet, d'un vingtième de fer ou de cuivre pour rendre l'aluminium impossible à travailler.

Parmi les alliages où l'aluminium domine, celui qui contient 5 p. 100 d'argent se travaille comme l'aluminium pur et a l'avantage d'être plus dur et de prendre un plus beau poli. Un dixième d'or n'ôte à l'aluminium rien de sa malléabilité, et l'alliage ainsi formé est intermédiaire pour la dureté entre l'aluminium pur et l'alliage à 5 p. 100 d'argent.

Un millième de bismuth aigrit tellement l'aluminium qu'il se gerce sous l'action du marteau, malgré les recuits réitérés.

Quand au contraire l'aluminium intervient pour la moindre proportion, on voit qu'il est capable de modifier d'une manière heureuse les propriétés des autres métaux, à la condition toutefois que la quantité d'aluminium introduite ne sera pas trop considérable. C'est ainsi qu'un vingtième d'aluminium communique au cuivre l'éclat et la belle couleur de l'or en même temps qu'une dureté qui ne nuit point à sa malléabilité. Un dixième d'aluminium produit avec le cuivre un alliage couleur d'or pâle, jouissant tout à la fois d'une grande dureté et d'une assez grande malléabilité. Le bronze d'aluminium est appelé à un grand avenir industriel.

5 parties d'aluminium alliées à 100 parties d'argent par donnent un alliage presque aussi dur que l'argent monétaire, et permettant aussi de communiquer à l'argent une dureté suffisante sans y introduire de métal vénéneux.

MÉTAUX.	RÉSISTANCE A LA RUPTURE en kilog. par millimètre carré de section.		COEFFICIENTS d'élasticité d'après		POIDS spécifique.
	lente.	subite.	les vibrations longitudinales	les allongements.	
Plomb coulé	1,25	2,21	1003	1775,9	11,21
» étiré	2,07	2,36	2278	1803,0	11,169
» recuit	1,80	2,04	2146	1727,5	11,232
Étain coulé	3,40	4,16	4643	»	7,40
» étiré	2,45	3	4000	»	7,313
» recuit	1,70	3,6	4418	»	7,296
Or étiré	27	27,05	8596	8131,5	18,514
» recuit	10,08	11	6372	5584,0	18,035
Argent étiré	20	29,06	7570	7357,7	10,369
» recuit	16,02	19,40	7242	7140,5	10,304
Zinc distillé coulé	1,56	»	7536	»	7,134
» ordinaire étiré	12,80	15,77	9555	8734,5	7,008
» recuit	»	14,40	9272	»	7,060
Cuivre étiré	40,30	41	12536	12450	8,933
» recuit	30,54	31,66	12540	10516	8,936
Platine étiré	34,10	35	16159	»	21,256
» recuit	23,50	20,46	15560	»	21,267
Fer étiré	61,10	64	19903	20869	7,748
» recuit	46,88	50,25	19925	20794	7,757
Fil d'acier étiré	70	87,80	19445	18809	7,718
» recuit	40,00	53,90	10290	17278	7,622
Nickel (parfaitement pur)	90,00	»	»	»	»
Cobalt (idem)	115	»	»	»	»
Antimoine coulé	»	6,97	»	»	6,712
Bismuth coulé	»	6,97	»	»	9,82

Expériences sur les alliages des métaux usuels entre eux.

NOMS des MÉTAUX ALLIÉS.	FORMULES chimiques ADOPTÉES.	COMPOSITION pour 100 PARTIES.		DENSITÉS.	COEFFICIENTS d'élasticité par vibrations.	ALLONGEMENTS maxima.	COHÉSIONS pour 1 millimètre de section.
[1] Plomb, étain.	$Pb_{13}Sn_{13}$	68,50	31,50	10,073	2506	0,552	0^k,03
(*Soudure des plombiers.*)	$PbSn$	63,80	30,20	0,408	2069	2,077	2,16
	Pb_3Sn_7	42,50	57,50	8,750	3512	1,501	2,67
	Pb_2Sn_7	33,25	60,75	8,378	3700	0,340	1,07
[2] Plomb, bismuth.	$Pb_{13}Bi_7$	02,40	37,60	11,037	2021	0,202	1,52
	$PbBi$	50	50	10,700	2307	0,440	1,79
	$PbBi_2$	33	60	10,403	2838	0,025	5,22
[3] Plomb, antimoine. . . .	Pb_2Sb	70	24	10,101	2183	»	1,87
(L'alliage Pb_2Sb est sensiblement celui employé pour les	$PbSb$	02	38	19,004	2502	»	5,59
caractères d'imprimerie.)	$PbSb_2$	43	57	8,940	3242	»	»
	$PbSb_3$	35	05	8,499	3530	»	»
Plomb, or.	$Pb_{20}Au$	05,4	4,09	11,301	2227	0,055	4,74
Plomb, argent.	Pb_3Ag_2	48	52	19,743	3095	»	»
Plomb, platine.	$Pb_{83}Pt$	08,85	1,15	11,473	2684	0,026	1,65
	Pb_2Pt	85	15	12,207	3107	»	»
[4] Plomb, zinc.	Pb_6Zc	05	5	11,100	2144	0,069	2,75
	Pb_4Zc	02,2	7,80	11,172	2493	9,000	2,02
	Pb_3Zc	87	13	11,130	2833	0,060	2,02
	$PbZc$	70,80	23,70	0,430	4007	»	3,47
	Pb_2Zc_3	68,20	31,8	0,043	6047	»	3,40
	$PbZc_3$	39	61	8,307	0108	»	»
	$PbZc_{13}$	24	70	7,010	7352	0,004	4,40
Plomb, cuivre.	Pb_3Cu	04,29	5,80	11,105	2113	0,043	2,13
Étain, bismuth.	Sn_6Bi_{10}	33	66	8,68	3610	0,028	8,19
	Sn_3Bi_4	54,00	45,49	8,89	2874	0,015	6,03
Étain, antimoine.	Sn_4Sb	78,5	21,5	7,21	4033	»	8,80?
	Sn_3Sb_2	06	44	7,05	4605	0,010	7,82
	Sn_2Sb_2	67,7	42,3	7,007	5168	»	»
[5] Étain, zinc.	Sn_6Zc	78,5	21,5	7,360	5330	0,240	5,78
	Sn_3Zc_2	73,40	26,09	7,255	5082	0,252	5,00
	$SnZc$	04	30	7,143	0453	0,038	4,88
	Sn_2Zc	48	52	7,103	7113	0,124	2,44
	$SnZc_2$	37,5	02,5	0,740	0970	0,082	4,32
	$SnZc_5$	28,7	73,30	6,957	7314	0,023	7,52
Étain, platine.	$Sn_{50}Pt$	08,70	3,39	7,578	5300	»	4,75
[6] Étain, cuivre.	Sn_3Cu_6	01,00	38,40	8,332	0113	»	»
	$SnCu_3$	48,39	51,70	8,531	8280	»	»
(*Métal des tam-tams*). . .	$SnCu_7$	21	70	8,813	9784	»	»
	Le même trempé.			8,089	7710	»	»

[1] Les alliages de plomb et d'étain sont en général plus fusibles que l'étain, surtout le second qui est fusible à basse température.

[2] et [3] La cohésion de l'alliage formé de parties egales de bismuth et de plomb, comme celle de l'alliage antimonieux PbSb, montrent le bon effet de l'alliage des metaux cassants avec le plomb. Leur effet est évidemment de s'opposer aux effets de glissemeot moléculaire, d'arrachement qui est le mode de repture du plomb.

L'accroissement de la quantite d'antimoine dans l'alliage le rend vitreux, cassant, et nous doutons de l'exactitude du chiffre qui donne la valeur de la cohésion de l'alliage Pb Sb, nous le croyons trop fort.

[4] Le plomb s'allie difficilement au zinc, dans la pratique il se produit presque toujours un départ entre les deux métaux. Cet effet est sans doute dû en partie à la densité; toutefois si on remarque que le zinc ne s'allie pas très-bien à l'etain doat la densite est peu differente et s'allie très-bien au cuivre qui est beaucoup plus lourd que lui, on doit en conclure que l'ordre de la difference des points de fusion qui tend à solidifier un métal avant l'autre, doit avoir la plus grande influence sur cette action de séparation.

L'effet le plus utile pour la pratique est celui produit par une petite quantité de zinc qui reste toujours unie au plomb et en augmente la durete. De même une faible proportion de plomb donne un peu plus de malleabilité au zinc.

[5] L'alliage de parties égales de zinc et d'étain a une grande dureté (non signalée dans le travail de M. Wartheim', et, d'après d'autres expérimentateurs, sa cohésion serait plus grande que celle trouvée ici.

[6] Les alliages à base principale de cuivre jusqu'à la combinaison 85 cuivre et 15 étain environ, sont nerveux, malléables. Quand la proportion d'etain augmente, ils deviennent durs, secs. Lorsque la proportion d'étain atteint 80 p. 100, les alliages reprennent de la malléabilité. Ceux compris entre les deux limites que nous venons de fixer sont les moins utiles dans l'industrie, il faut en excepter les alliages sonores, qui atteignent leur maximum de sonorité à environ 75 cuivre et 25 étain, proportion adoptée pour les cymbales et les tam-tams. La composition du métal de cloches varie de 79 cuivre et 21 étain à 77 C. et 23 S. Le métal blanc des télescopes est formé de 85 cuivre et 35 etain.

NOMS des MÉTAUX ALLIÉS.	FORMULES chimiques ADOPTÉES.	COMPOSITION pour 100 PARTIES.	DENSITÉS.	COEFFICIENTS d'élasticité par vibrations.	ALLONGEMENTS maxima.	COHÉSIONS pour 1 millimètre de section.
(*Bronze*).	$Sn Cu_{22}$	7,80 82,20	8,738	8115?	»	»
	Le même trempé.		8,537	0734?	»	»
Étain, fer.	$Sn_{20} Fe$	98,20 1,80	7,266	4881	»	»
	$Sn_{11} Fe$	90 4	7,418	5001	»	2,40
[7] Argent, cuivre (*alliage de la monnaie*).	$Ag_5 Cu$	94,5 5,50	10,121	8913	»	44,05
	$Ag Cu$	87,4 22,6	9,603	8590	0,002	51,97
Or, platine.	$Au_7 Pl_2$	78,2 21,80	19,650	9844	»	7,12
Or, fer.	$Au_{12} Fe_2$	97,25 2,75	18,842	9024	0,010	20,41
[8] Zinc, cuivre.	$Zc_{13} Cu_4$	70,80 23,20	7,301	7678	»	4,10
	$Zc Cu$	51,5 48,5	8,265	8774	»	18,68
	$Zc_8 Cu_4$	43,3 56,7	8,310	9105	»	36,80
(*Laiton pur*).	$Zc Cu_2$	33,75 05,25	8,606	10163	»	60,2
(*Laiton de Berlin*).	$Zc_8 Cu_{17}$	32,45 07,55	8,427	9823	0,002	65,10
(*Espèce de similor*).	$Zc Cu_8$	14,6 85,4	8,636	0778	0,001	51,90
	$Zc_2 Cu_{11}$	15,65 84,35	8,070	10290	0,003	48,30
Plomb, bismuth, étain (*métal de d'Arcet*).	$Pb_2 Bi_2 Sn_2$	44,5 47,8 17,7	9,795	2020	0,695	1,74
[9] Plomb, antimoine, étain.	$Pb_4 Sb_2 Sn_2$	57 18 25	9,196	2735	0,032	7,80
	$Pb Sb Sn_2$	36,5 22,5 41	8,317	3232	»	5,62
Plomb, étain, zinc.	$Pb_{14} Sn_4 Zc_8$	73 12 15	10,212	2486	0,102	1,44
Étain, antimoine, cuivre. .	$Sn_4 Sb_2 Cu_2$	51 28 21	7,751	5770	»	4,17
Zinc, cuivre, nickel. . . .	$Zc_8 Cu_{18} Ni_2$	35 57,5 7,5	8,403	9517	0,001	»
(*Maillechort*).	$Zc_4 Cu_{18} Ni_5$	18,6 60 21,4	8,541	10227	0,001	01,88
(*Pakfong très-ductile*). . .	$Zc_5 Cu_5 Ni_3$	37 43 20	8,430	11722	0,001	55,0
(*Pakfong du commerce*. . .	$Zc_2 Cu_2 Ni_2$	21 50,0 28,4	8,615	12250	0,002	68,10

[7] Nous devons citer ici l'alliage Levol, dont les propriétés remarquables résultent d'un alliage atomique. Cet alliage, représenté par la formule $Ag^3 Cu^4$, est formé pour 1000 parties de 719 argent et 281 cuivre, jouit d'une homogénéité complète que ne peut avoir l'alliage à 9/10 de fin employé pour les monnaies françaises. Il a été avantageusement adopté, après de nombreuses expériences, par la Hollande pour la refonte des monnaies de Java.

[8] Les alliages qui renferment plus de 25 p. 100 de zinc sont d'une préparation difficile, le zinc brûlant avec facilité.

[9] Cet alliage est la base de la composition donnée du maximum de résistance que puisse employer la fonderie en caractères. Elle est malheureusement d'un prix élevé à cause de la grande proportion d'étain.

Observation sur les alliages. En comparant les densités et les élasticités des alliages portées en tableau précédent et déterminées par l'expérience directe, aux mêmes quantités déduites par le calcul, des quantités des métaux qui entrent dans les alliages, M. Wertheim n'a pu constater une régularité qui pût faire entrevoir comment ces quantités peuvent être liées entre elles, mais cependant pour la pratique on peut admettre, comme approximation, que le coefficient d'élasticité d'un alliage est celui qui se déduit de ceux des métaux composants.

ALLUMETTES CHIMIQUES. La fabrication des allumettes chimiques se compose de plusieurs opérations bien distinctes et qui sont les suivantes :

1° Le débitage du bois en petites baguettes, qui sont ensuite découpées en tiges ;

2° La mise en presse des tiges d'allumettes;

3° Le *soufrage* des tiges ou le *trempage* dans un corps gras, remplaçant le soufre;

4° La préparation de la pâte phosphorée;

5° Le *chimicage* ou trempage du bout soufré dans la pâte phosphorée;

6° Le *dessèchement* des allumettes;

7° Le démontage des presses;

8° La mise en paquets et en boîtes.

Débitage du bois. — Deux moyens sont employés pour débiter le bois. Dans la plupart des petites fabriques, où une seule famille exécute tout le travail, et où l'on n'achète pas les tiges confectionnées, le bois est fendu au couteau. Dans plusieurs grandes usines même, ce procédé est employé concurremment avec d'autres, pour la confection des tiges d'allumettes en bois de sapin, dont on se sert dans les ménages. Quel que soit le bois employé, ce procédé fournit toujours des tiges *pelucheuses*, inégales, plus ou moins tordues, et s'arrangent assez mal en paquets ou en boîtes.

En Autriche, on se sert exclusivement d'un rabot muni d'un fer spécial. C'est Étienne Rœmer, qui le premier réussit à confectionner ainsi les tiges d'allumettes. Le fer de ce rabot ressemble à une mèche ordinaire; seulement à la place du tranchant, son extrémité inférieure se termine par une *partie recourbée*. On ménage dans cette partie, trois, quatre ou cinq trous cylindriques qu'on perce d'outre en outre, à l'aide d'un foret. C'est dans les forêts de la haute Autriche, de la Bohême, et dans la forêt Noire du Wurtemberg qu'on fabrique toutes les tiges d'allumettes employées par les nombreuses usines de l'empire d'Autriche et du reste de l'Allemagne.

Dans les autres pays quand les fabricants ne s'approvisionnent pas de petites baguettes préparées en Autriche, on se sert de machines spéciales pour fendre le

bois. Ce débitage se fait dans des ateliers séparés de la fabrique d'allumettes. En France, le bois le plus employé est le *tremble*, qui est léger et facile à fendre. On y utilise également le *bouleau*, qui est plus lourd et donne de meilleurs produits, mais d'un prix de revient supérieur à ceux du tremble. Avant de couper le bois, on le dessèche au four, on le scie ensuite en troncs de cylindres qui sont débités en tiges *carrées* ou *cylindriques*. Comme les fibres du bois de tremble et de bouleau ne sont pas droites, les tiges coupées, carrées ou rondes, n'ont guère de fils dépassant en longueur deux fois le diamètre de celles-ci, ce qui rend ces tiges très-sujettes à se casser lors du frottement qu'on exerce pour allumer la pâte phosphorée. On évite cet inconvénient en prenant l'allumette le plus près possible du bout, mais, dans ce cas, on risque de se brûler les doigts. Certaines allumettes carrées, en bois léger, qui se trouvent dans la consommation parisienne, présentent ce défaut de solidité à un degré très-prononcé. Le fragment d'allumette qui se détache tombe souvent à terre, quand il a déjà pris feu, ou bien s'il ne s'est pas allumé, il s'enflamme par le frottement involontaire du pied; dans l'un et l'autre cas, les risques d'incendie sont évidents.

Les bouts des allumettes sciées conservent la trace de la scie; ce qui rend leur *extrémité pelucheuse* et nuit à l'opération du *chimicage*. La pâte phosphorée s'envelopperait très-irrégulièrement. Les bouts qui présentent ce défaut devraient être roussis, par leur application contre une surface rougie, avant d'être soufrés, comme on le pratique pour les allumettes où un corps gras remplace le soufre.

Mise en presse. — Pour que le bout de chaque tige d'allumette puisse recevoir d'abord le soufre, puis la pâte phosphorée, il est indispensable de les tenir isolées les unes des autres; on arrive à ce résultat par la mise en presse. A cet effet, une ouvrière, car c'est presque toujours une femme qui exécute ce travail, prend dans sa main un certain nombre d'allumettes, et elle les étend rapidement sur une planchette à crans, disposée de telle sorte que chaque cran, creusé un peu en biais, retient une allumette; elle prend aussitôt de son autre main une autre planchette semblable, et elle en recouvre la première, puis elle étend de nouveau ses allumettes; chaque planchette présente à son revers deux bandelettes de flanelle collées dans le sens de sa longueur, et destinées à maintenir les allumettes qu'elle recouvre; ces planchettes, ainsi garnies, se superposent et se fixent les unes sur les autres, en remplissant l'espace laissé entre deux baguettes rondes et verticales, taraudées à leurs sommets, qui reçoivent les planchettes par les deux trous qu'on a ménagés à leurs extrémités. Lorsque ce châssis est rempli par vingt ou vingt-cinq planchettes superposées, on les fixe toutes au moyen d'une dernière planchette pleine, qui est assujettie par des vis. C'est là le procédé autrichien, qui est exécuté de la même manière dans presque toutes les usines. Néanmoins, en France, quelques industriels opèrent la mise en presse à l'aide d'une machine.

Trempage ou soufre. — Les tiges étant mises en presse, on procède à l'opération du soufrage. Cette opération s'exécute en plongeant l'extrémité des tiges jusqu'à un centimètre environ dans du soufre maintenu en fusion sur une plaque de fonte à rebords recourbés. On opère sur 700 à 800 tiges à la fois.

Lorsqu'on remplace le soufre par un corps gras ou par une matière résineuse, avant de tremper le bout de la tige dans le corps gras *fortement chauffé*, on le roussit préalablement, ou même on le charbonne légèrement en l'appuyant un moment sur une plaque de fonte faiblement rougie. La légère carbonisation qui s'opère au bout de l'allumette rend celle-ci plus combustible lors de la déflagration et de l'inflammation de la pâte dont on l'entoure.

Chimicage. — Le bout des tiges étant soufré, on procède au chimicage, qui consiste uniquement à les tremper dans la pâte inflammable qui se trouve étalée à l'aide d'une règle sur une table de pierre, comme en Autriche, ou de fonte de fer, ou bien dans une auge à fond plat en cuivre, de forme carrée, et placée sur une table de pierre.

Le chimicage se fait à chaud ou à froid. On l'exécute à chaud lorsqu'on emploie la colle forte, et à froid quand on se sert de gomme ou de dextrine.

Nous avons déjà indiqué dans un premier article les éléments essentiels de la pâte des allumettes.

Dessèchement des allumettes. — La dessiccation du mastic adhérent au bout des allumettes se fait dans un séchoir à air chaud. Dans les fabriques bien montées, les séchoirs sont chauffés à l'aide de la vapeur d'eau qui circule dans les tuyaux, ou bien par une circulation d'eau chaude.

L'emploi de tuyaux de poêles, chauffant toujours très-inégalement les ateliers, devrait être interdit; le courant d'air très-chaud, qui se produit ainsi dans certains endroits, a souvent occasionné des incendies. Le dessèchement est complet au bout de vingt-quatre heures. Les presses, avec les allumettes desséchées, sont alors retirées du séchoir; elles sont dégarnies et les allumettes réunies en bottes ou bien placées dans des boîtes.

INCONVÉNIENTS ET DANGERS AUXQUELS EXPOSENT LA FABRICATION ET L'EMPLOI DES ALLUMETTES PHOSPHORIQUES.

Danger pour la santé des ouvriers. — La fabrication des allumettes chimiques, lorsqu'elle est faite sans précautions particulières, est la cause de maux bien cruels pour certains ouvriers. Ces maux sont dus à la vapeur de phosphore, qu'exhale d'une manière continue la pâte inflammable, et cela d'autant plus fortement que sa température est plus élevée.

Cette vapeur de phosphore passe à l'état d'acide phosphoreux, qui, restant suspendu dans l'air, le rend complétement nuageux et délétère pour les ouvriers. Le docteur Lorinzer, de Vienne, a, le premier, en 1845, appelé sur ces maux l'attention de l'autorité publique et de la médecine.

Depuis cette époque, les médecins, dans différents pays, ont constaté avec soin les accidents qui se sont produits. En France, le docteur Théophile Roussel, dans un écrit présenté, le 16 février 1846, à l'Académie des sciences de l'Institut, et intitulé, *Recherches sur les maladies des ouvriers employés à la fabrication des allumettes chimiques*, a décrit avec une grande exactitude toutes les affections qu'il a observées.

Les ouvriers qui exécutent les opérations que nous venons d'indiquer ne sont pas tous exposés de la même manière : ceux qui opèrent la préparation de la pâte et le chimicage sont le plus en danger; chez eux la maladie se développe après qu'ils ont pratiqué ces opérations pendant quatre à six années. Les autres y sont infiniment moins sujets. La malpropreté paraît être une cause prédisposante pour tous: les ouvriers atteints de carie de dents sont plus exposés que ceux qui ont une denture saine.

Une ventilation convenable des locaux où se fait la préparation de la pâte, le chimicage, le dessèchement des tiges armées de mastic, le dégarnissage des presses et l'arrangement des allumettes en paquets et en boîtes, diminue *considérablement* les chances qu'ont les travailleurs d'être atteints.

Les faits qui précèdent, dont la gravité ne peut être méconnue de personne, imposent des devoirs à l'auto

rité et aux fabricants. Dès 1847, M. J. Preshel, à Vienne, a reconstruit son usine dans l'espoir de soustraire ses ouvriers à ces affections. Le résultat a couronné ses efforts. Les maladies sont devenues tellement rares dans son usine, qu'on peut dire que le danger n'existe presque plus. Les modifications apportées par M. J. Preshel consistent dans une disposition particulière des locaux et dans le système de ventilation qui y est établi. La faculté de médecine de Vienne, appelée à émettre son avis sur la valeur de ces modifications, les a complétement approuvées et les a proposées pour un modèle à suivre dans la construction des autres fabriques d'allumettes.

Mais ce n'est pas le seul danger auquel les allumettes phosphoriques exposent la société, il en existe deux autres : les chances d'incendie et les empoisonnements accidentels et criminels.

Danger d'incendie. — Des paquets d'allumettes placés dans des lieux trop chauds, ou bien frappés par la lumière solaire directe, peuvent prendre spontanément feu. La chaleur, déterminant l'inflammation spontanée de la pâte, a été la cause des incendies qui ont éclaté chez les débitants d'allumettes ou chez des particuliers qui avaient placé des allumettes en *paquets* ou en *boîtes ouvertes* dans un lieu trop fortement chauffé ou exposé au rayonnement d'un foyer.

Pendant l'été, le feu a été mis aux granges et aux meules, dans les toits desquelles des malveillants avaient implanté quelques allumettes. Le danger pour la sécurité publique et privée existe donc; mais il n'est qu'un résultat prévu, inévitable des qualités de l'allumette; il est en raison même de sa *sensibilité*, c'est-à-dire de la facilité avec laquelle elle produit du feu, lorsqu'on veut s'en servir. Pour que ces inconvénients disparaissent, il faut que le consommateur cesse de réclamer cette sensibilité.

En examinant tous les cas d'accidents signalés et en exceptant ceux causés par la malveillance, on s'aperçoit aisément qu'ils dépendent, soit de l'imprudence, soit de l'imprévoyance des personnes. Combien n'en existe-t-il pas qui abandonnent les allumettes en paquets ou en vases ouverts et combustibles sur la tablette d'une cheminée? Combien n'en trouve-t-on pas qui les laissent traîner partout?

Empoisonnements causés par les allumettes chimiques. — Reste la dernière cause de danger : les propriétés toxiques du phosphore contenu dans la pâte. Les propriétés vénéneuses du phosphore sont connues depuis plus d'un siècle. On sait qu'introduit dans le corps en très-petite quantité, un centigramme, par exemple, il excite énergiquement l'économie animale et produit un orgasme vénérien. On sait, en outre, que cinq centigrammes ont souvent suffi pour déterminer la mort au milieu de convulsions. D'ailleurs, le phosphore, divisé dans des matières alimentaires, a été employé depuis quinze à vingt années pour détruire les animaux nuisibles. Dans certains pays, des marchands ambulants colportent dans les campagnes de la pâte phosphorée pour détruire les rats et les souris. On a donc appris au peuple que le phosphore peut donner la mort. Peut-on s'étonner, après cela, qu'il se soit servi du phosphore des allumettes pour commettre des crimes? Partout ne trouve-t-on pas l'abus à côté de l'usage? Mais le danger auquel est exposée la société est-il bien grave? A certain point de vue, nous n'hésitons pas à déclarer que ce danger est immense. En effet, celui qui médite un crime a sous la main le moyen de le perpétrer immédiatement. Ce qui doit, jusqu'à un certain point, rassurer la société, et ce que l'on ne saurait proclamer trop haut, c'est que si l'empoisonnement est facile à commettre, les symptômes offerts par la victime trahissent toujours le crime, et qu'après la mort il est possible, et même facile, de constater la présence du poison. D'ailleurs, les mets chauds et même froids auxquels on a ajouté du phosphore exhalent une odeur nauséabonde et possèdent un goût d'ail très-prononcé.

Existe-t-il un moyen de se procurer facilement du feu et de la lumière? Ce moyen n'expose-t-il pas la santé de l'ouvrier, ne peut-il donner lieu ni à des incendies ni à un empoisonnement, soit accidentel, soit criminel? Ce moyen existe, c'est l'emploi du *phosphore rouge*, découvert, en 1847, par le docteur Schotter, secrétaire perpétuel de l'Académie impériale de Vienne. Ce corps qu'on désigne encore sous le nom de phosphore *amorphe*, se distingue du phosphore ordinaire par un ensemble de propriétés. Ainsi, il ne produit ni émanations nauséabondes, ni lueur dans un lieu obscur; il ne *s'enflamme jamais spontanément* dans les conditions que l'on peut rencontrer dans un lieu habité ou habitable. Pour brûler, il lui faut au moins 200 degrés de chaleur. Il est *complétement dépourvu de propriétés vénéneuses*; il en résulte que son maniement et son mélange avec les aliments ne peuvent pas altérer la santé. Le changement qu'éprouve le phosphore dans la combustibilité, en prenant la forme du phosphore *rouge*, le suit dans sa manière d'être à l'égard des corps comburants avec lesquels on le mêle. Ainsi, additionné de bioxyde de plomb, ou de bioxyde et d'azotate de plomb, d'azotate de potasse, il ne s'enflamme plus par le frottement. Ces composés ne peuvent donc pas lui servir d'oxydant, comme c'est le cas pour le phosphore ordinaire. Jusqu'ici, on ne connaît que le *chlorate de potasse avec lequel il brûle par frottement*. Malheureusement, le mélange de ces deux corps, soumis au frottement contre un corps dur et rugueux, produit une déflagration bruyante et des projections, phénomènes qui entraînent avec eux toutes sortes de dangers qui existaient dans le mélange de chlorate de potasse avec le phosphore ordinaire, et qui ont déterminé le remplacement de ce sel par des composés de plomb.

D'après l'expérience que nous en avons faite, l'emploi des allumettes armées d'une pâte dans laquelle entrent simultanément le phosphore amorphe et le chlorate de potasse, est tout aussi dangereux, sinon plus dangereux que celui des allumettes faites avec le chlorate et le phosphore ordinaire; un faible frottement enflamme celles-ci, tandis qu'il faut un frottement plus fort pour enflammer les premières, et par ce frottement un peu énergique on détache presque toujours une partie de la pâte, qui est lancée au loin en pleine ignition. La déflagration de la pâte nous a paru d'ailleurs beaucoup plus bruyante. Ce dernier fait dépend-il de la composition des matières? c'est ce que nous ne savons pas; mais ce qui nous fait supposer que cela dépend de la nature même du phosphore rouge, ce sont les propriétés de la pâte faite par un même fabricant à l'aide des deux phosphores. Dès 1847, M. J. Preshel s'est servi du phosphore rouge, préparé par M. Schotter même, pour en confectionner des allumettes. Or, celles-ci explosionnent d'une manière beaucoup plus bruyante, *crachent plus* que celles confectionnées au chlorate et au phosphore ordinaire.

Les inconvénients et les dangers que présentent les allumettes munies d'une pâte au phosphore amorphe et au chlorate de potasse sont donc tels que la simple prudence oblige de les proscrire. Mais de là il ne résulte pas nécessairement que le phosphore amorphe ne puisse pas remplacer le phosphore ordinaire. Il a été fabriqué des *allumettes spéciales ne s'enflammant par la friction qu'autant qu'on les frotte sur une surface particulière.* On sait que les allumettes ordinaires s'enflamment par la friction contre une surface quelconque, pourvu qu'elle soit dure. La pâte dont les nouvelles allumettes sont garnies renferme du chlorate de potasse mêlé de matières combustibles et d'un corps dur pulvé-

rulent; la surface sur laquelle la friction se fait est recouverte d'un vernis contenant du phosphore amorphe disséminé dans une matière fort dure. Ainsi, la pâte de l'allumette ne contient aucune trace de phosphore; ce corps en est séparé et déposé sur une surface préparée *ad hoc*, distincte de l'allumette, et qui lui en *cède une trace sous l'influence de la friction*. Trois fabricants ont envoyé à l'Exposition de 1855 un système d'allumettes basé sur le principe de la séparation de la matière comburante d'avec la matière combustible destinée à provoquer la combustion. Ce sont M. Bernard Furth, de Schüttenhoffen (Bohême), M. J. Preshel, de Vianne, et la fabrique de Jonkoping (Suède), représentée par M. C.-F. Lundstrom, copropriétaire de cette usine[1].

Toutes les objections faites contre l'emploi des allumettes phosphoriques ordinaires tombent devant ce système. *La pâte, dont le bout est garni, peut être chauffée à une température presque égale à celle nécessaire pour la destruction du bois, sans prendre feu, et, lorsqu'elle deflagre, elle ne produit pas de projection de parties enflammées.* La surface, enduite de phosphore rouge, supporte également sans s'enflammer une température supérieure à celle nécessaire pour détruire les matières combustibles. Ni la pâte, ni la surface ne prennent feu sous l'influence du frottement. Ainsi, la pâte adhérente au bout de la tige, la surface sur laquelle il faut opérer la friction, présentent une égale sécurité. Le nom d'*allumettes de sûreté* ou de *briquet de sûreté*, qu'on leur a donné, est parfaitement applicable.

En examinant de près ce système d'allumettes, on voit qu'il repose sur le même principe que celui qui a donné naissance au briquet oxygéné. Il est remarquable qu'après un demi-siècle de recherches, on soit ramené au point de départ. En effet, dans le briquet oxygéné, comme dans le briquet de sûreté, l'agent qui doit développer le feu est séparé de la matière combustible. Dans l'un, c'est l'acide sulfurique, corps liquide très-altérable à l'air humide; dans l'autre, c'est un corps solide, complétement inaltérable dans l'air, *pourvu qu'on ne l'expose pas à la radiation solaire directe*. L'un repose sur le simple contact, l'autre sur la friction. Mais, quoique le principe soit le même, il y a un progrès évident, incontestable. (M. Stass. — Rapport du jury de 1855.)

ALUMINIUM. La découverte de l'aluminium ou plutôt de sa préparation à l'état métallique a frappé vivement l'attention publique dans ces dernières années. Elle a conquis une juste popularité au savant chimiste M. H. Deville, dont la science n'était auparavant appréciée que dans le monde savant.

Extraire de l'argile, si commune partout, un métal analogue aux métaux précieux par sa résistance à l'action de l'air, aussi léger que le verre, la densité de l'aluminium n'est que 2,56, comparable à l'argent quant à l'aspect, bien qu'un peu bleuâtre (ce qui empêche de l'employer bruni), doué de beaucoup de ténacité et par suite susceptible de nombreuses applications soit seul, soit à l'état d'alliages avec d'autres métaux, c'était à coup sûr obtenir de curieux et intéressants résultats bien dignes de frapper vivement l'attention publique.

L'aluminium se produit par la décomposition du chlorure d'aluminium au moyen du sodium; le sodium, en s'emparant du chlore pour former du sel marin, isole l'aluminium de sa combinaison.

Il y a donc ici trois faits à considérer et à étudier :

La préparation du sodium;

La préparation du chlorure d'aluminium;

[1] Le système de fabrication de cette usine est celui vulgarisé à Paris par MM. Coignet.

Et enfin la réaction entre ces deux corps; l'extraction de l'aluminium.

Nous procéderons suivant l'ordre que nous venons d'indiquer.

Préparation du sodium. — En s'appuyant des travaux de MM. Mareska et Donny, qui ont publié en 1852 un excellent travail sur l'extraction du sodium, en modifiant très-heureusement le genre de récipient plat, qu'ils avaient adopté, et aussi la composition du mélange, M. Deville est parvenu à produire du sodium avec une facilité et une abondance qu'on aurait volontiers, il y a quelque temps, regardées comme impossible.

Il s'est surtout attaché principalement à faire de la fabrication du sodium une opération continue, condition fondamentale pour une exploitation industrielle. Il fallait pour cela qu'on ne fût pas obligé de retirer la cornue du fourneau, après l'épuisement du mélange. Il fallait, de plus, que cette cornue fût mise à l'abri de l'oxydation pour en prolonger la durée et éviter ainsi les temps d'arrêt tout en diminuant la dépense. Un fait important qui résulta des expériences de M. Deville, c'est qu'on pouvait diminuer la température en augmentant la surface de chauffe et en rétrécissant l'ouverture qui doit donner passage à la vapeur du sodium. Toutes ces conditions se trouvent remplies par les dispositions suivantes :

La bouteille à mercure, qu'on avait employée jusqu'ici, est remplacée par un tube de fer étiré, d'un diamètre de 1 décimètre sur 1m,20 de longueur. (L'expérience a prouvé à M. Deville qu'un plus grand diamètre devenait bientôt désavantageux.) A l'une de ses extrémités, ce tube est fermé par une plaque de fer soudée à la forge, et percée, non pas au centre, mais près de sa circonférence, d'une ouverture dans laquelle on visse un bout de canon de fusil de 1 décimètre, lequel constitue le tube de dégagement. Ce tube se rend dans un récipient plat que l'on vide dans l'huile de schiste toutes les fois qu'il est plein. A l'autre extrémité du cylindre est un bouchon de forte tôle, qu'on peut enlever et replacer à volonté, au moyen d'une poignée en forme d'anneau. On recouvre ce cylindre d'un lut qui doit être un peu fusible, et qui est composé de terre à poêle et de crottin de cheval. Le cylindre est alors introduit dans un manchon de terre réfractaire, assez large pour qu'un espace annulaire reste libre entre la paroi intérieure et la surface du cylindre. Cet espace est rempli par de la brique pilée.

L'appareil ainsi préparé se place dans le fourneau horizontalement, de manière que le tube de dégagement, qui a besoin d'être maintenu à une haute température, ne sorte que de 1 ou 2 centimètres. La culasse du cylindre traverse la face postérieure du fourneau, assez pour qu'on puisse facilement ôter le bouchon et le remettre en place.

La disposition intérieure du fourneau est telle que l'appareil se chauffe à la flamme. C'est, du reste, un fourneau à réverbère ordinaire. M. Deville a opéré sur deux cylindres à la fois, mais on pourrait facilement opérer sur un plus grand nombre.

La chaleur perdue du fourneau sert à chauffer un four voisin, où se calcine, dans des pots de terre fermés d'un couvercle, le mélange d'où l'on se propose d'extraire le sodium.

Voici la composition du mélange que M. Deville a employé dans ses dernières opérations :

Carbonate de soude (en cristaux). . .	1,000 part.
Craie (blanc de Bougival).	150
Houille de Charleroy pulvérisée. . .	450

Ces matières étant préalablement triturées et mélangées avec soin par un moyen mécanique quelconque, on les calcine dans le four dont nous avons parlé plus

 ALUMINIUM.

haut. Il est nécessaire de pousser la calcination assez loin pour que le mélange soit en masse compacte et non pulvérulente. Le mélange est introduit par gros fragments dans le cylindre, et il n'y a plus qu'à chauffer et à adapter le récipient ou condensateur.

Quand le dégagement cesse, on ouvre le cylindre par la culasse; on enlève les résidus avec une pelle demi-cylindrique, et on les remplace par une nouvelle charge. Pour opérer ce chargement avec plus de facilité, on peut mettre le mélange sous forme de cartouches à enveloppes de calicot ou simplement de fort papier.

Le sodium qui coule dans la terrine est tout à fait pur et n'a plus besoin d'aucun traitement. Dans le récipient, on en trouve également une grande quantité, en lames épaisses ou en gros fragments, très-bons à recueillir. Mais le récipient contient aussi beaucoup de sodium divisé en petits globules mêlés à du charbon, ou à d'autres produits condensés. Ces résidus sont chauffés dans l'huile de schiste, dans une marmite en fonte, où on les écrase à l'aide d'un pilon de métal. Au bout de peu de temps, une grande partie du sodium se rassemble en grappes que l'on recueille. Cependant, le résidu final est encore riche en métal; on la traite comme un mélange, mais alors dans de simples bouteilles à mercure, car, dans le grand cylindre, l'opération marcherait trop rapidement. Le sodium ainsi obtenu, du premier ou du second jet, est parfaitement pur, et se dissout dans l'alcool sans résidu aucun.

Il est facile de juger, d'après ce qui précède, des perfectionnements apportés par M. Deville à la préparation du sodium. L'introduction de la craie dans le mélange a augmenté le rendement dans une proportion inespérée. La houille agit comme excellent réducteur. Elle fournit des gaz hydrogénés et à la fin du gaz hydrogène pur qui contribue à emporter la vapeur de sodium dans le récipient, et à préserver le métal réduit contre l'action destructive de l'oxyde de carbone. C'est un service de ce genre que la houille rend dans la fabrication du zinc. Par la substitution des longs cylindres aux bouteilles à mercure, l'opération est devenue possible à une température beaucoup plus basse. De là économie de combustible, et, circonstance plus précieuse encore, possibilité de recouvrir les cylindres d'une enveloppe protectrice qui les garantit de l'oxydation.

Enfin la question de continuité dans l'opération, par le non-déplacement et la multiplication des cylindres, d'où dépendait essentiellement l'exploitation industrielle, est complétement résolue. Il est certain qu'aujourd'hui, ainsi que le disait M. Dumas à l'Institut, la fabrication du sodium est pour le moins aussi facile que celle du zinc, avec laquelle elle a, du reste, la plus grande analogie.

Le sodium peut être manipulé sans aucun danger, pourvu qu'on prenne les précautions que la prudence commande. Il peut rester fondu au contact de l'air sans s'enflammer; on peut impunément le couper, l'étaler sous le marteau et même le manier, à condition que l'eau en sera éloignée avec soin. Enfin, il ne peut pas y avoir dans la préparation du sodium d'accident imprévu. Le phosphore présente incomparablement plus de dangers, ce qui n'empêche pas qu'on n'en fabrique journellement d s quantités considérables.

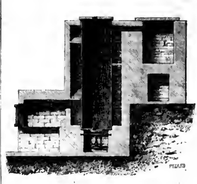
Obtenu aujourd'hui à 6 fr. le kil., le sodium offre à l'industrie un élément d'une extrême puissance à réaction alcaline, qui jouera peut-être un rôle, dans l'avenir, analogue à celui de l'acide sulfurique. C'est, on peut l'assurer, un progrès qui sera fécond en grands résultats.

Chlorure d'aluminium. — On sait que le chlorure d'aluminium se produit quand on fait passer un courant de chlore sec sur un mélange calciné d'alumine et de charbon chauffé au rouge. C'est M. Thénard qui, le premier, eut l'idée de ce mode de préparation, mais on en doit l'exécution à Œrstedt.

Jusqu'à présent, ce produit n'avait pour ainsi dire pas d'emploi dans les laboratoires, et les collections les mieux montées n'en possédaient que quelques grammes à titre d'échantillon.

Disons tout de suite comment M. Deville parvient aujourd'hui à le préparer par centaines de kilogrammes.

La pièce principale est une cornue en terre, de celles qu'on emploie pour distiller la houille dans les usines à gaz. Cette cornue, d'une capacité de 300 litres, est placée verticalement dans un fourneau en maçonnerie, qui la chauffe à la flamme dans toute sa hauteur, fig. 3407.



3407.

Elle est percée de quatre ouvertures : deux en bas et deux en haut. L'une des ouvertures du bas O, est placée latéralement, à une certaine distance au-dessus du fond. Elle donne passage à un tuyau de porcelaine par où arrive le chlore, lequel tuyau pénètre jusqu'à l'axe de la cornue. La seconde ouverture, placée plus près du fond et du côté opposé à la première, sert au nettoyage.

Par en haut, et au centre du couvercle, est la trou par où l'on introduit la charge. Sur le côté est l'issue du chlorure d'aluminium qui va se condenser dans une chambre I en maçonnerie, qu'il serait plus avantageux, d'après M. Deville, de construire en tôle, et dont les parois sont recouvertes de plaques de faïence vernissée. La chambre à condensation communique elle-même, par un conduit, avec l'air extérieur, pour l'écoulement des produits gazeux de la réaction.

L'alumine employée provient de la calcination de l'alun ammoniacal, auquel le sulfate d'alumine pourrait être substitué avec économie. Au lieu d'ajouter à l'alumine, d'abord du charbon pulvérisé, puis de l'huile, pour rendre le mélange plastique, M. Deville emploie tout simplement le goudron de houille, déchet des usines à gaz, dont le prix est extrêmement minime, et qui remplace à la fois l'huile et le charbon. Ce mélange est distribué dans des pots de terre pour être calciné dans un four à réverbère. M. Deville a indiqué d'opérer ici comme pour le mélange à sodium, c'est-à-dire d'effectuer la calcination au moyen de l'excès de chaleur du fourneau à chlorure.

Le mélange étant calciné, on en remplit la cornue, et on chauffe progressivement jusqu'au rouge. Alors on fait passer par le tube de porcelaine dont nous avons parlé le courant de chlore qui se produit dans des bombonnes de grès contenant du peroxyde de manganèse

et de l'acide chlorhydrique, et chauffées sur un vaste bain de sable.

On pouvait craindre, dans cette partie de l'opération, que le chlore n'attaquât la matière même de la cornue, mais heureusement il n'en est rien. Le chlore n'agit que suivant l'axe de la cornue, et sur un rayon de 1 à 2 décimètres, de sorte que les parois se trouvent protégées par une couche épaisse de mélange inattaqué. Tout le chlore est rigoureusement absorbé, si rapide que soit son dégagement, et il n'en arrive pas la moindre trace dans la chambre de condensation.

Quand on voit diminuer la production du chlorure, on suspend l'arrivée du chlore, on débouche la cornue par en haut et par en bas pour la nettoyer et la remplir.

Voilà donc encore une opération continue et, par conséquent, tout à fait industrielle.

MM. Rousseau ont substitué avec grand avantage, à la production assez difficile de chlorure, et au moyen du chauffage d'un mélange de sel marin, de matière alumineuse et de charbon, la fabrication d'un chlorure double liquide qui vient se condenser d'une manière continue.

Enfin l'emploi de la *cryolithe*, minerai du Groënland, qui est un fluorure double d'aluminium et de sodium, est venu rendre presque inutile dans l'avenir cette préparation, et pourra remplacer le chlorure, lorsqu'on exploitera ce minéral sur une échelle suffisante. Des usines, produisant des quantités notables d'aluminium, se servent déjà exclusivement de ce minerai.

Aluminium : Œrstedt la premier essaya de produire l'aluminium, en traitant son chlorure par un amalgame de potassium (alliage de potassium et de mercure), mais ses tentatives n'eurent aucun succès.

En 1827, M. Wœhler, le célèbre professeur de l'Université de Gœttingue, attaqua le chlorure d'aluminium par le potassium, dans un creuset de platine, en employant chaque corps à équivalents égaux. Il obtint une poudre grise prenant l'éclat métallique sous le brunissoir, mais infusible et décomposant facilement l'eau à 100°.

En 1845, M. Wœhler reprit ses travaux; cette fois, il produisit des globules métalliques, très-petits à la vérité, dont l'un put être laminé et fournir une petite lame de 11 millimètres. Mais ce métal ne pouvait se fondre qu'au chalumeau, à l'aide du borax, et il continuait à décomposer l'eau à la température de l'ébullition.

Les choses en étaient là quand, dans ces derniers temps, M. Deville étudia de nouveau la question, et il modifia, avec un grand succès, les expériences de M. Wœhler.

L'aluminium obtenu par M. Deville était fusible dans un creuset, inoxydable, sans action sur la vapeur d'eau aux températures les plus élevées, et jouissant enfin des propriétés remarquables bien connues aujourd'hui. Il y avait loin de là, on le voit, à l'aluminium de M. Wœhler. Cette différence résulte du mode de préparation employé par le célèbre chimiste allemand. Préparé dans un vase de platine et sans excès de chlorure, l'aluminium contenait à la fois du platine, qui le rendait presque infusible, et du sodium, qui le rendait attaquable par l'eau.

C'est en faisant passer le chlorure d'aluminium en vapeur sur le sodium contenu dans des nacelles métalliques qu'on opéra d'abord ; mais, ainsi préparé, l'aluminium renferme toujours quelques alliages qu'il forme avec le métal avec lequel il a été en contact, ce qui nuit à sa malléabilité et à son éclat.

Après bien des essais, M. Deville a reconnu qu'avec l'addition d'un fondant convenable, qui permît aux globules d'aluminium de se réunir, on pouvait mélanger directement les substances entre lesquelles la réaction doit s'effectuer. Aussi aujourd'hui c'est en mélangeant simplement le sodium et le chlorure d'aluminium, en les jetant à la pelle dans un four à réverbère chauffé, que l'on ferme quand il a été chargé, que l'on produit la réaction qui donne naissance à l'aluminium métallique, qui vient couler en lingots.

La préparation de l'aluminium n'a pas encore dit son dernier mot, et M. Deville ainsi que ses émules et élèves, MM. Rousseau et M. P. Morin, s'occupent avec raison de la perfectionner. En effet, il est rarement pur et il perd presque toujours de sa malléabilité, par les alliages qu'il forme tantôt avec le silicium des fourneaux, tantôt avec les métaux avec lesquels il s'est trouvé en contact pendant les réactions qui l'ont mis en liberté.

Les usines existantes peuvent à peine suffire à la consommation croissante de l'aluminium, que réclame surtout la bijouterie. Elle est, sans doute, encore peu considérable, mais elles élèvecependant à plusieurs kilogrammes par jour, et chacun d'eux permet d'exécuter une quantité d'objets qui nécessiteraient 4 kilog. d'argent. Nul doute que de nouveaux débouchés ne provoquent les progrès de la fabrication qui tend à s'améliorer et à abaisser le prix de revient, chaque jour. Il est encore fixé vers 300 fr., mais aucun chimiste ne doute qu'il ne doive considérablement diminuer; car, comme le dit très-bien M. Deville, l'histoire des progrès de l'industrie démontre clairement que les problèmes dont la solution dépend de l'économie dans la main-d'œuvre et de l'invention des appareils sont toujours résolus, pourvu que les matières premières soient communes et à bas prix.

ARDOISES. Nous ajouterons à notre premier travail quelques détails sur les propriétés des ardoises. En France l'ardoise s'exploite en Anjou depuis un temps immémorial (un autre centre d'exploitation existe dans les Vosges, mais est de bien moindre importance). L'ardoise d'Anjou a une couleur noire ou noire-bleuâtre. Elle est très-schisteuse et peu compacte; cependant elle résiste assez bien à l'action mécanique ou chimique des agents atmosphériques. Diverses expériences ont été faites par M. A. Blavier, sur les propriétés de l'ardoise de l'Anjou. Elle renferme seulement quelques millièmes de pyrite de fer, qui n'est pas intimement disséminée dans sa pâte, mais qui y forme de petits nodules isolés, ce qui permet de rejeter les échantillons qui en renferment trop. Lorsqu'elle est immergée, elle s'imbibe d'une plus grande quantité d'eau que l'ardoise anglaise. Car, tandis que cette dernière n'absorbe que 0,0002 de son poids, pour une épaisseur de 3mm, l'ardoise de l'Anjou en absorbe 0,0005, c'est-à-dire plus du double pour une épaisseur qui est seulement de 2mm. M. Blavier a cherché ensuite la résistance à la rupture d'ardoises ayant différentes épaisseurs. Il a opéré sur des ardoises carrées de 0m,25, reposant par leurs quatre côtés sur un cadre bien dressé et chargées directement sur une surface de 1 décimètre carré. Les charges nécessaires pour produire la rupture sont données par le tableau ci-dessous :

ÉPAISSEUR DE L'ARDOISE.	CHARGE.
millimètres.	kilogrammes.
1	8
2	35
3	60
4	90
5	120
6	150
7	170

On voit que la résistance de l'ardoise à la rupture augmente rapidement avec son épaisseur. Il y a donc avantage à employer des ardoises épaisses, et l'expérience a montré, en effet, que l'ardoise d'Angers peut ne durer que vingt-cinq ans, lorsqu'elle est très-fine,

tandis qu'elle dure plus d'un siècle lorsque son épaisseur est convenable.

La quantité d'ardoises fabriquées annuellement est de 141,864,000 : elle représente une valeur de 2,743,876 francs. On fabrique, en outre, divers produits avec des dalles de schiste ardoisier, mais leur valeur est seulement de 75,000 francs.

ARDOISE ÉMAILLÉE. — En Angleterre, M. Magnus est le créateur d'une industrie toute nouvelle, celle de l'ardoise dite émaillée; et il a eu le rare bonheur de la porter à un degré de perfection tel, qu'il ne lui reste, pour ainsi dire, plus de progrès à faire.

Les premières recherches de M. Magnus datent de 1834, et elles lui ont été suggérées par un séjour de plusieurs années, qu'il fit dans les fabriques de poteries du Straffordshire. Il eut d'abord l'idée de soumettre l'ardoise à la chaleur graduée des fours de poterie, et il vit qu'au lieu de s'altérer, elle devenait plus dure et plus résistante; il songea ensuite à fixer des couleurs sur l'ardoise, et il y réussit également. Il prit un brevet en Angleterre, en 1838, et maintenant il possède à Pimlico (Londres) une usine très-importante, qui occupe une centaine d'ouvriers.

L'ardoise est une matière minérale qui réunit un grand nombre de qualités; en effet, elle est homogène, compacte; elle n'absorbe pas l'humidité, elle résiste bien à l'action de la chaleur et elle se taille très-facilement, surtout en dalles ou en plaques. Dans l'état naturel, elle a cependant une couleur sombre et se raye très-facilement; aussi est-elle très-peu employée à cet état pour la décoration et l'ameublement; mais ces inconvénients disparaissent quand on la recouvre d'un vernis auquel on peut d'ailleurs donner les couleurs les plus variées.

L'ardoise du pays de Galles est celle que M. Magnus emploie pour la fabrication de l'ardoise dite émaillée. L'application de la couleur imitant le marbre se fait à l'aide d'un vernis et par un procédé consistant à utiliser les effets produits par le mélange de corps pâteux, qui est celui même que la nature a employé pour créer les marbres.

Pour appliquer les couleurs sur l'ardoise, de manière à imiter le marbre, on prépare des couleurs épaissies avec un vernis; on les répand sur un bain d'eau et on vient appliquer la surface de l'ardoise sur ce bain coloré; la fixation des couleurs sur l'ardoise a lieu immédiatement.

Ce procédé est très-simple et très-rapide, puisque un seul ouvrier peut marbrer plus de 50 pièces en un jour. L'ardoise, recouverte de son enduit coloré, est ensuite introduite dans des fours, où elle est soumise graduellement à une température de 200 à 300° centigrades. Elle reste huit à dix jours dans ces fours. Lorsqu'elle en sort, elle possède, d'après M. Magnus, une grande résistance à la rupture; car cette résistance serait égale à celle d'une dalle de marbre d'épaisseur quadruple. L'enduit coloré qui recouvre l'ardoise n'a qu'une épaisseur très-mince, mais il est parfaitement fixé, et il ne s'enlève pas, même après un usage de plusieurs années. Il résiste bien à l'action de l'air qui, à ce qu'il paraît, l'altère moins rapidement que le marbre. Toutefois sa dureté est beaucoup moindre que celle du marbre, et il se laisse facilement rayer avec l'ongle. Pour rendre l'enduit brillant, lorsque l'ardoise sort du four, on la polit avec du tripoli et avec de la potée d'étain.

Ce qui vient d'être dit sur la préparation de l'ardoise émaillée, montre qu'elle n'est pas recouverte par un émail comme celui des poteries, ainsi que son nom semblerait le faire croire; mais qu'elle est simplement protégée par un vernis; il serait donc préférable de la nommer ardoise vernissée.

Par le procédé que nous venons d'indiquer, M. Magnus est parvenu à imiter la porcelaine et surtout à représenter toute espèce de roches : l'albâtre d'Égypte, la serpentine verte et rouge de Gênes, la griotte, le portor, le jaune de Sienne, le marbre weadien de Purbeck, les granites, les porphyres de Suède et le porphyre rouge antique.

La ressemblance de l'ardoise émaillée avec ces diverses roches est quelquefois si grande, qu'il faut l'examiner avec beaucoup de soin, pour reconnaître que c'est seulement une imitation qu'on a sous les yeux; nous citerons notamment le porphyre rouge antique, comme l'une des roches qui peuvent le mieux être imitées.

Le prix de l'ardoise émaillée varie avec les difficultés que présente la reproduction du marbre qu'on a cherché à imiter; et on distingue quatre classes de prix :

1re classe. — Albâtre d'Égypte, malachite de Russie, lumachelle, griotte, jaspe; marbres noirs, blancs et de diverses couleurs.

2e classe. — Serpentine, jaune de Sienne, portor, porphyres, granites, marbres de Purbeck.

3e classe. — Lapis-lazuli et marbres riches, ou à dessins complexes.

4e classe. — Imitation de mosaïques; représentation de fleurs et d'animaux.

Le prix de l'ardoise varie avec son épaisseur; et le tableau suivant fait connaître, pour un pied carré, quels sont les principaux prix de l'ardoise émaillée :

	1re classe.	2e classe.	3e classe.
Ardoise de 1 pce d'épaisseur	2sch9d	3sch6d	4sch0d
» » 2........	4 6	5 6	6 0

Les prix de la 4e classe sont, très-variables, et ils dépendent entièrement des objets à représenter.

Remarquons qu'en Angleterre, le marbre jaune de Sienne revient à 15 sch. 6 d.; le portor, à 16 sch.; et le marbre noir, à 8 schellings par pied carré; les prix de l'ardoise émaillée sont donc bien inférieurs à ceux des marbres; ainsi, par exemple, pour l'imitation du marbre noir, le prix est seulement un peu plus du tiers; pour l'imitation du jaune de Sienne, il n'est guère que le cinquième.

L'Angleterre, si largement dotée de toutes les richesses minérales, est, par exception, pauvre en marbres; comme l'ardoise émaillée imite très-bien le marbre et revient à un prix beaucoup moins élevé, il est facile de comprendre pourquoi son usage s'est répandu avec une si grande rapidité. Elle a, en effet, été adoptée par le riche comme par le pauvre, et elle décore même des résidences royales. En quelques années, sa consommation est devenue si grande, que la production ne peut y suffire. On l'emploie, dès à présent, pour tables, consoles, toilettes et pour toutes sortes de dessus de meubles. Elle est très-propre aussi à faire des cheminées ou des poêles.

Lorsque les cheminées sont formées de pièces ayant seulement 5 pouces d'épaisseur, leur prix n'est que de 17 sch. pour la 1re classe de marbres, 1 liv. 5 sch. pour la 2e classe, et 1 liv. 18 sch. pour la 3e classe.

On se sert de l'ardoise émaillée pour faire des baignoires très-élégantes.

Les parois des appartements peuvent encore être revêtues et décorées, avec beaucoup de luxe, par des plaques d'ardoise émaillée; des salles de bains en sont entièrement construites. On en fabrique aussi des vases, des piédestaux, des autels, des pierres tumulaires.

Enfin, l'ardoise émaillée est très-propre à faire des billards, dont les prix ne sont pas très-supérieurs à ceux des billards en bois; comme tous les billards en ardoise, ils ont sur eux l'avantage de présenter une

surface mieux nivelée et qui ne varie pas par l'action de la température ou de l'humidité.

L'ardoise émaillée commence à se répandre hors de l'Angleterre; ainsi on l'emploie en Allemagne, surtout à Berlin, où elle sert à faire des bains et des lavoirs.

Jusque dans ces derniers temps, l'emploi de l'ardoise était à peu près limité à la toiture et à quelques usages dans les constructions; mais la découverte de l'ardoise émaillée a permis de s'en servir dans l'ameublement et dans la décoration; cette découverte a donc créé un débouché nouveau à une matière minérale qui se trouve en masses inépuisables dans le sein de la terre.

ARGILE. L'introduction dans les arts des silicates alumineux qu'on nomme *argiles* fut de la plus grande importance. Ces combinaisons de la silice et de l'alumine, abondamment répandues dans la nature, jouent en effet un grand rôle dans la fabrication des ciments, dans l'art métallurgique, dans beaucoup de productions appartenant aux arts chimiques; leur emploi le plus intéressant est la fabrication des poteries. Tous ces divers usages ont pour cause les propriétés caractéristiques et variées que nous allons énumérer.

Si les silicates anhydres simples, que les minéralogistes connaissent sous les noms de dysthène, d'andalousite, de sillimanite, dont la composition se représente par la formule 2 ($Si O^3$), 3 ($Al^2 O^3$), sont assez rares et jusqu'ici sans applications industrielles, il n'en est plus de même des divers silicates hydratés qui sont, au contraire, très-répandus. Ces sels occupent en effet une place considérable dans les couches qui forment l'écorce du globe que nous habitons, et leur mise en œuvre par des ouvriers intelligents transforme des matières presque sans prix en outils indispensables aux progrès de nos diverses industries, en ustensiles de ménage, et souvent même en objets d'art du plus grand mérite. L'étude des hydrosilicates d'alumine contient celle des marnes, des argiles, des kaolins, etc. Nous allons la résumer, au point de vue le plus général. Les argiles que nous présente la nature ont une composition variable entre d'assez grandes limites. Mais les corps qui portent ce nom réunissent un ensemble de caractères qui permet de les réunir en un seul groupe; ils donnent par l'exposition à l'air une matière blanche ou grise, quelquefois colorée par des mélanges accidentels, douce au toucher et présentant au frottement une odeur particulière, s'écrasant à l'état humide ou *vert* sans difficulté, assez dure quand elle est sèche.

L'argile desséchée happe fortement à la langue; quand on l'humecte et lorsqu'on la pétrit avec un peu d'eau, elle répand une odeur particulière *sui generis* dont la cause est inconnue; en même temps, elle forme une pâte liante, *plastique*, durcissant par l'exposition à l'air et surtout lorsqu'on la soumet à l'action d'une température élevée. Délayée dans beaucoup d'eau, l'argile trouble le liquide et reste en suspension pendant un temps souvent très-long, ce qui prouve la grande ténuité des particules tout à fait impalpables qui nagent au sein du liquide.

Les argiles sont essentiellement formées de silice, d'alumine et d'eau; aucun de ces corps isolés, aucune des combinaisons de ces corps deux à deux, n'a la propriété plastique; de plus, l'argile chauffée jusqu'à 200 ou 300 degrés et qui a perdu son eau de combinaison ne reprend plus sa plasticité, quand on vient à l'humecter de nouveau.

On ignore si les argiles sont des mélanges de divers silicates alumineux en proportions définies; les proportions des trois éléments sont variables dans la composition des argiles; elles renferment en général, pour 100 parties :

Silice	de	45	à	80
Alumine	de	15	à	40

et de l'eau dont la proportion s'élève rarement au-dessus de 18 pour 100.

On a remarqué que les argiles les plus alumineuses sont les plus plastiques; ce sont aussi celles qui contiennent le plus d'eau de combinaison. Telle est la composition de l'argile pure. Le plus généralement les argiles donnent à l'analyse d'autres substances qui modifient leur couleur et leurs propriétés; ces corps ne s'y trouvent certainement qu'à l'état de mélange, et ce mélange modifie les propriétés et les usages des terres argileuses : ces usages sont en rapport direct avec la composition.

Les argiles acquièrent par l'action du feu des propriétés remarquables : elles prennent de la dureté, de la cohésion, de la retraite; toutes ces modifications dans leurs propriétés initiales ont été mises à profit par les arts. Chauffées jusqu'à 100 degrés, elles ne perdent pas toute leur eau de combinaison, elles conservent leur plasticité qu'elles perdent complétement vers 300 degrés.

Une température convenable les transforme en des matières qui ne sont plus entamées par l'acier ou qui étincellent par le briquet, qui ne se brisent, sous le choc ou sous la pression, qu'avec la plus grande difficulté. En même temps, elles prennent du retrait ou de la retraite, c'est-à-dire que leurs dimensions linéaires diminuent et quelquefois dans la proportion de 20 pour 100; les molécules se rapprochent par ce mouvement, et c'est sans doute à ce rapprochement des molécules, comme à la combinaison qui peut en résulter, qu'il convient d'attribuer les modifications qui surviennent par la cuisson dans la cohésion et la dureté des pâtes céramiques.

La calcination les rend aussi plus facilement attaquables, surtout quand elles sont légèrement calcaires et qu'elles n'ont pas été soumises à des températures trop élevées. La fabrication en grand du sulfate d'alumine, qui remplace aujourd'hui l'alun dans la confection des toiles peintes, repose sur cette action de la chaleur sur les argiles. La matière qui n'est que difficilement attaquée, même à chaud, par l'acide sulfurique, lorsqu'elle est à l'état cru, se décompose rapidement, au contraire, si l'on fait agir l'acide sur des matières préalablement calcinées d'une manière convenable. L'argile que l'on choisit de préférence est le kaolin argileux le plus blanc, c'est-à-dire le plus dépouillé d'oxyde de fer. L'attaque se fait dans des vases de plomb avec l'acide sulfurique chauffé par de la vapeur qui circule dans des tuyaux de plomb placés dans les réservoirs d'attaque.

La retraite des argiles a été mise à profit pour établir un instrument propre, dans certaines limites, à la mesure des plus hautes températures. Le pyromètre de Wedgwood, que nous décrirons plus tard avec les détails convenables (voir PYROMÈTRE), est basé sur cette propriété. On sait qu'il est formé de deux règles métalliques se croisant sous un angle très-aigu; de petits disques d'argile blanche infusible, tous de même diamètre, sont soumis à l'action du feu; on juge par la diminution de leur diamètre, mesurée par la longueur de la course qu'ils peuvent faire entre les deux règles, la retraite qu'ils ont subie, c'est-à-dire la température à laquelle on les a soumis.

Les argiles, quand elles sont pures de tout mélange étranger, restent blanches à la température la plus élevée de nos fourneaux; elles ne fondent pas : de là, la propriété réfractaire qui appartient à tous les silicates d'alumine; seulement elles prennent une texture serrée, compacte, analogue à celle du grès ou de la porcelaine. Les argiles les moins ramollissables aux feux de nos fourneaux ne paraissent être ni les plus siliceuses ni les plus alumineuses : celles qui sont très-alumineuses se ramollissent sensiblement, et les pièces

qui sont façonnées avec ces argiles se déforment notablement. Il y a quelques proportions intermédiaires correspondantes au maximum de résistance. Les températures très-élevées qu'on produit en petit par l'emploi du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène transforment les argiles en verre avec une très-grande facilité.

Nous avons dit que les argiles admettaient en mélange des matières étrangères; ces dernières sont assez nombreuses; tantôt elles sont disséminées en fragments beaucoup plus volumineux que les particules argileuses, tantôt elles ont la même degré de ténuité. Dans le premier cas, on sépare aisément les matières étrangères par un délayage dans l'eau suivi d'une simple décantation; les matières très-ténues restent en suspension bien plus longtemps que les autres, bien que leur densité soit à très-peu près la même. Cela tient à ce que la force qui tend à précipiter les matières au fond du vase est proportionnelle à leur masse, tandis que la force qui empêche leur précipitation est proportionnelle à la surface en contact avec le liquide; or les masses croissent comme les cubes des dimensions, et les surfaces comme les carrés seulement; la force accélératrice croît ainsi beaucoup plus rapidement que la force retardatrice, à mesure que les dimensions des particules augmentent.

En soumettant donc les argiles au lavage suivi d'une décantation, les matières qui ont une certaine masse se précipitent au fond du vase; presque toutes les argiles que nous offre la nature laissent de la sorte déposer une quantité plus ou moins considérable de parties sableuses rudes au toucher; ce sont :

1° Des grains de quartz reconnaissables à leur cassure inégale, non lamelleuse, à leur dureté, à leur couleur, à leur transparence, enfin aux autres caractères qui distinguent l'acide silicique.

2° Du feldspath moins dur que le quartz, en cristaux plus ou moins nets, opalins, fusibles au chalumeau.

3° Du mica qui se présente en lamelles très-minces, larges, restant longtemps en suspension dans l'eau; le mica est souvent visible dans les argiles elles-mêmes sous forme de paillettes brillantes; ces dernières se séparent alors en lits de mince épaisseur.

4° Des pyrites de fer; ces pyrites sont des cristaux ou des grains de bisulfure de fer, lourds, ayant l'éclat métallique et la couleur jaune du laiton; les pyrites se trouvent dans les argiles, surtout dans les variétés qui contiennent du bitume en quantité notable.

Les argiles contiennent encore d'autres matières qui sont intimement mélangées avec le silicate d'alumine et qu'on ne peut en séparer par la décantation; ce sont le carbonate de chaux, l'oxyde de fer, le sulfure de fer, les alcalis et le bitume.

1° On reconnaît le carbonate de chaux à la propriété qu'ont les argiles de faire effervescence avec les acides; une petite proportion de calcaire ne détruit pas la plasticité. Les argiles mêlées de calcaires prennent le nom de marne. Les marnes sont plastiques et se travaillent assez bien quand elles ne contiennent pas beaucoup de calcaire, comme 10 ou 12 pour 100. Ce sont les marnes argileuses; elles acquièrent une grande dureté par le fait de la cuisson. On les emploie le plus ordinairement dans la fabrication des poteries communes.

Quand la proportion de calcaire dépasse une certaine limite, la matière devient plus solide et prend une texture plus compacte. Cependant il y a des marnes crayeuses qui ne présentent pas une très-grande consistance. L'argile, dans ce cas, se désagrége facilement sous les influences atmosphériques; employée sans argile plastique dans la fabrication des poteries, elle ne donne pas des pâtes réellement plastiques. Les marnes calcaires sont moins employées que les marnes argileuses dans les arts céramiques, et seulement comme matières dégraissantes, c'est-à-dire antiplastiques.

2° L'oxyde de fer se trouve fréquemment disséminé dans les argiles; il les colore quelquefois en rouge, il est alors à l'état de peroxyde anhydre; d'autres fois en jaune ocreux, il est alors à l'état d'hydrate de peroxyde; dans ce dernier cas, les argiles rougissent par l'exposition au feu, le peroxyde anhydre étant beaucoup plus colorant que l'hydrate. Les argiles absolument dépourvues de fer et qui ne se colorent pas par la calcination sont excessivement rares. Quelquefois l'oxyde de fer est engagé dans la combinaison sous forme de silicate ou de carbonate.

3° Le sulfure de fer qui se sépare quelquefois très-facilement par le lavage des argiles, ne s'aperçoit pas toujours; il peut être disséminé dans la masse sous forme impalpable, comme il l'est dans certains calcaires qu'il colore soit en bleu, soit en gris. Beaucoup d'argiles peuvent devoir leur coloration à des sulfures de fer disséminés; dans ce cas, la calcination fait apparaître une couleur rouge ou rougeâtre plus ou moins foncée, c'est l'indice de la présence du fer que le lavage ne séparerait pas.

Le carbonate de chaux et l'oxyde de fer, qui ne diminuent la plasticité de l'argile que lorsqu'ils lui sont mêlés en proportions notables, exercent une grande influence sur une propriété très-importante des argiles, la qualité réfractaire.

Certaines argiles sont rendues fusibles à haute température par la présence d'une quantité, même peu considérable, de chaux ou d'oxyde de fer; aussi la plupart des poteries ordinaires fondent-elles en une matière vitreuse à la chaleur d'un four à porcelaine; celles qui contiennent du fer donnent une matière vitreuse noirâtre, analogue aux scories des hauts fourneaux. J'ai dit plus haut que les argiles renfermaient quelquefois des pyrites en grains : ces pyrites sont beaucoup plus nuisibles dans la fabrication des poteries que les pyrites disséminées; elles se transforment par le grillage en oxyde, et cet oxyde fait fondre toute la matière qui l'entoure en formant une cavité.

4° Les argiles renferment généralement une petite quantité d'alcalis (potasse et soude) dont le poids peut s'élever jusqu'à 2 ou 3 pour 100. Les argiles plastiques des environs de Paris n'en contiennent que 4 à 5 millièmes; on en trouverait certainement dans toutes les argiles. Une petite quantité d'alcalis dans une argile suffit pour la rendre ramollissable à la haute température de nos fourneaux; aussi les kaolins qui renferment 2 ou 3 pour 100 de potasse et de soude ne sont-ils pas complétement réfractaires; ces éléments ne communiquent aucune coloration au silicate d'alumine, même aux températures les plus élevées. La texture serrée semi-vitreuse et la translucidité qui caractérisent la porcelaine sont dues à l'influence des silicates alcalins qui fondent au feu de cuisson. On peut admettre que, dans le plus grand nombre des cas, les alcalis que l'on rencontre dans les argiles proviennent des parties feldspathiques ou micacées qui s'y trouvent naturellement disséminées en particules tellement ténues, qu'elles ne peuvent être séparées de l'argile pure par un simple lavage.

5° Les argiles et les marnes sont souvent colorées en brun, en gris ou en noir, par des matières de nature organique qui exhalent une odeur bitumineuse par le frottement, par la calcination; elles peuvent être employées comme les autres argiles dans la fabrication des poteries, et les objets qu'on en fait peuvent acquérir et conserver au feu une couleur noire due au charbon qu'ils contiennent quand la cuisson se fait à une température peu élevée ou comme en vase clos. Lorsque le charbon se brûle sous l'influence d'un courant d'air, on observe des places plus ou moins colorées en

rouge si l'argile est ferrugineuse. Certaines argiles renferment des proportions considérables de matières analogues à la houille et donnent des poteries noires que l'infusibilité du charbon rend très-réfractaires. Les creusets de plombagine employés dans certains cas sont faits avec cette sorte d'argile; du reste, on les imite artificiellement en faisant un mélange d'argile et de coke pulvérisé.

Pour faire l'analyse des argiles, on profite de ce que les argiles pures sont à peine attaquables par les acides faibles. On peut ainsi en séparer le calcaire et même l'oxyde de fer hydraté au moyen de l'acide oxalique; le résidu peut ensuite être décomposé pour l'analyse, soit à la température rouge, par une attaque à la potasse dans un creuset d'argent, ou par une attaque au carbonate alcalin, soit à la température ordinaire, par l'acide fluorhydrique.

Il est convenable de faire précéder l'analyse de toute argile d'une décantation en grand, opérée sur une quantité pesée de matière, afin de connaître la proportion de sable qui s'y trouve; à cet effet, on délaye la matière dans l'eau, dans un vase d'une assez grande capacité; on laisse reposer une ou deux minutes, puis on fait écouler la partie laiteuse avec la plus grande précaution pour ne rien entraîner du résidu sablonneux; on recommence à plusieurs reprises l'opération toujours de la même manière, en observant les mêmes règles, en mettant à chaque fois la matière en suspension jusqu'à ce que l'eau de lavage ne cesse pas d'être très-sensiblement trouble après deux ou trois minutes de repos. On fait sécher les résidus afin de les amener au même degré de sécheresse que la prise d'essai, puis on pèse; on examine ensuite à la loupe le résidu sableux formé des substances dont il peut être utile de déterminer la nature.

Les silicates d'alumine sont attaquables par l'acide sulfurique concentré et chaud qui enlève une partie de l'alumine; un lavage avec une dissolution alcaline dissout la silice mise en liberté par ce premier traitement, et celle qui, primitivement à l'état de liberté, pouvait exister en mélange intime avec le silicate alumineux; on reprend par l'acide sulfurique pour décomposer une nouvelle portion de l'argile, et par la potasse pour dissoudre la silice que ce second traitement vient de rendre libre à son tour. On peut ainsi, par une suite d'attaques alternatives par l'acide sulfurique et la potasse, décomposer la totalité de l'argile proprement dite, et ne laisser à l'état insoluble que les matières étrangères, telles que le quartz, le feldspath, etc., non attaquables par les acides et les solutions alcalines, matières qui se trouvaient à l'état de mélange dans l'hydrosilicate alumineux.

La liqueur sulfurique contient de l'alumine, du fer, de la chaux, de la magnésie; on précipite le fer et l'alumine par l'hydrosulfate d'ammoniaque, qu'on sépare ensuite l'un de l'autre par la potasse après avoir redissous les sulfures dans l'acide chlorhydrique. Il reste des sulfates de chaux et de magnésie mêlés de sulfates alcalins; on les sépare au moyen de l'oxalate et du phosphate d'ammoniaque. C'est là ce qu'on appelle l'analyse rationnelle; c'est cette analyse qui permet de définir l'argile dans un but purement théorique et qui sert aux spéculations de la science. L'analyse empirique, celle qui intéresse le potier, le fabricant de produits chimiques, le fabricant de ciment hydraulique, etc., consiste à décomposer l'argile sans s'inquiéter de l'état de combinaison des éléments qu'elle contient : on détermine d'abord l'eau par une calcination, puis on attaque l'argile par la potasse au creuset d'argent, ou par le carbonate de soude au creuset de platine.

J'ai dit plus haut que l'argile cuite était plus attaquable par les acides que l'argile crue; MM. Vient, Thénard et Berthier ont constaté cette propriété, mise depuis hors de doute par des expériences de M. Marignac. L'argile de Dreux, traitée par l'acide chlorhydrique, perd seulement les 0,25 de son poids lorsqu'elle est crue, et près de 0,45 quand elle est cuite; à une température très-élevée, la dissolution redevient très-difficile; les 0,08 du poids de l'argile seulement ont été dissous.

On a fait une expérience semblable avec une argile ferrugineuse, avec de l'ocre jaune. L'ocre crue a laissé sans se dissoudre un résidu pesant 0,63 insoluble dans l'acide chlorhydrique. Après une première calcination, ce résidu pesait 0,64; après une deuxième calcination, 0,57; enfin, après un troisième coup de feu, on n'a plus trouvé que 0,73 de résidu non attaqué.

Une marne, soumise aux mêmes essais, a perdu, crue, 0,58, et cuite, 0,60. Si l'on enlève le calcaire, l'argile crue laisse 0,70 et l'argile calcinée 0,95, c'est-à-dire 0,30 de perte dans un cas et seulement 0,05 dans l'autre. Ces résultats mettent hors de doute que la composition de l'argile exerce, tout aussi bien que la température employée pour la calcination, une influence importante sur les différences qu'on pourrait observer. La pâte de porcelaine crue perd 0,10 de parties solubles, tandis qu'elle n'en abandonne que 0,06 à l'état de dégourdi.

Les diverses méthodes d'analyses décrites plus haut ont conduit à la connaissance exacte de certaines argiles qu'on est convenu de considérer comme types. Nous les avons classées dans les tableaux qui suivent, et je n'ai pas cru devoir omettre ici les résultats qui représentent les compositions et les usages des principales argiles provenant soit du territoire français, soit des contrées environnantes. Beaucoup de ces analyses ont été faites au laboratoire de Sèvres par les différents chimistes qui ont été successivement attachés à cet établissement, MM. Laurent, Malaguti, Marignac, Salvétat; quelques autres sont empruntées au traité classique de M. Berthier, sur les Essais par la voie sèche, t. 1, p. 39 et suivantes :

ARGILES DES LOCALITÉS PRISES EN FRANCE.

		POUR 100 PARTIES D'ARGILE séchées à + 100 degrés centigrades.					
		Eau.	Silice.	Alumine.	Oxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.
1	Abondant. .	13.10	50.80	35.20	0.40	0.00	0.00
2	Arcueil . . .	11.01	52.14	22.00	8.08	1.68	traces
3	Belin. . . .	8.84	63.57	27.45	0.15	0.55	traces
4	Échassières. .	18.40	49.20	34.00	0.00	0.00	0.00
5	Étrépigny. .	6.66	70.00	16.50	0.50	0.75	traces
6	Forges. . . .	11.00	65.00	24.00	traces	0.00	0.00
7	Gaujac. . . .	14.50	48.50	36.10	0.00	traces	0.00
8	Hayanges . .	7.80	68.10	19 80	0.30	0 00	0.00
9	Klingenberg.	16.00	48.32	32.48	1.52	1.61	traces
10	Labouchade.	12.00	55.40	26.40	4.20	0.00	0.00
11	Leyval. . . .	12.80	52.00	31.60	4.40	0 00	0.00
12	Livernon . .	18.00	48 00	24.00	8.26	2.00	0.00
13	La Malaise. .	15.00	52.55	28.50	0.55	3.00	1.80
14	Montereau. .	10.00	64.40	24.60	traces	0.00	0.00
15	Provins . . .	»	57.00	37.00	4.00	1.70	0.00
16	Retourneloup	16.68	42.00	38 86	0 65	1 04	0.17
17	Salavas . . .	11.05	58.78	28.10	2.50	traces	2.51
18	Savignies. .	»	65.00	31.00	1.00	traces	2.00
19	Strasbourg. .	12.00	68 70	18.20	1.80	0.00	0.60
20	Vaugirard. .	14.58	51.84	26.10	4.81	2.25	0.23

Voici les caractères et les usages de ces diverses argiles :

1. Argile d'Abondant, près Dreux (Eure-et-Loir),

blanche, plastique, très-estimée, sert à faire des hygiocérames, des grès, des cazettes à porcelaine, des creusets pour fondre l'acier ; très-réfractaire. On peut supposer que, dans cette argile, une partie de l'alumine est à l'état d'hydrate d'alumine en mélange avec le silicate alumineux hydraté. Les qualités de cette terre, sa manière d'être dans la nature, sur laquelle nous reviendrons plus loin, permettent cette hypothèse.

2. Argile d'Arcueil (Seine), noirâtre, plastique, inférieure au calcaire grossier; utilisée dans la fabrication des poteries de Paris.

3. Argile de Belin (Ardennes), grise, plastique, infusible, mais se frittant légèrement au grand feu de porcelaines; on l'emploie dans les faïenceries de Douai.

4. Argile d'Echassières (Allier), blanche et plastique, sert à la confection des creusets à fondre l'antimoine; on la fait entrer aussi dans la composition de quelques porcelaines dures.

5. Argile d'Étrépigny (Jura), grasse, verdâtre, chargée de grains de quartz, infusible; employée dans les faïenceries du Doubs.

6. Argile de Forges (Seine-Inférieure), plastique, grise, supérieure à la craie; très-estimée pour la fabrication des pots de verrerie, pour la faïence fine et la faïence commune.

7. Argile de Gaujac (Landes), plastique et blanche; sert à faire les cazettes de la manufacture de Villedien.

8. Argile de Hayanges (Moselle), jaunâtre, sableuse; employée à la fabrication des briques réfractaires.

9. Argile de Klingenberg (Vosges), plastique, grise; sert à faire les pots de verrerie, cuvettes pour les glaces coulées, etc.

10. Argile de Labouchade, près de Montluçon (Allier), dure, blanc-jaunâtre; sert à faire des pots de verrerie.

11. Argile de Leyval (Charente-Inférieure), blanche, marbrée de rouge; employée dans la fabrication des pots de verrerie.

12. Argile de Livernon (Lot), rouge; sert dans la fabrication des poteries faites en imitation des poteries étrusques.

13. Argile de la Malnise (Haute-Vienne), plastique, veinée de rouge, infusible au grand feu; sert à la confection des cazettes pour la porcelaine de Limoges.

14. Argile de Montereau (Yonne), plastique, d'un gris clair; très-estimée dans la fabrication des terres dites anglaises à Creil, Montereau, Rubelles, Courbeton, Salins, etc. Les variétés communes donnent des briques réfractaires dites de Bourgogne. Nous ferons remarquer, en temps utile, les différences que les mêmes bancs de cette argile présentent dans leur composition. Elles sont telles qu'il faut une très-grande habitude pour distinguer à première vue les gîtes de la meilleure qualité.

15. Argile de Provins (Seine-et-Marne), plastique, blanchâtre; employée pour la fabrication des briques réfractaires et momentanément à Sèvres pour les cazettes à porcelaine.

16. Argile de Retourneloup (Seine-et-Marne), plastique, grise, mêlée de veines rouges, infusible; sert à fabriquer actuellement les cazettes dont fait usage la manufacture impériale de Sèvres.

17. Argile de Salavas (Ardèche), plastique, rosâtre, avec paillettes de mica, infusible, devenant grise au grand feu des fours à porcelaine; employée pour faire les creusets à fondre l'acier de Saint-Étienne.

18. Argile de Saveignies (Oise), plastique, noirâtre, supérieure à la craie; employée dans la fabrication des grès et poteries du pays.

19. Argile de Strasbourg (Bas-Rhin), plastique, grise; employée dans la fabrication des terres de pipe de Strasbourg.

20. Argile de Vaugirard (Seine), noirâtre, plastique, veinée; sert à faire la poterie commune de Paris.

Les dépôts argileux ne sont pas très-rares; d'autres contrées que la France en possèdent des amas qui sont renommés; nous en citerons quelques-uns parmi les plus importants. Voici leurs compositions, leurs usages et leurs caractères.

ARGILES DE LOCALITÉS PRISES HORS DE FRANCE.

		POUR 100 PARTIES D'ARGILE séchées à + 100 degrés centigrades.					
		Eau.	Silice.	Alumine.	Oxyde de fer.	Chaux	Magnésie.
1	Bornholm. .	5.02	72.50	19.50	1.00	0.50	0.59
2	Helsingborg.	0.00	60.70	20.45	7.93	0.35	0.47
3	Gloukoff. . .	10.30	49.35	37.00	0.00	0.00	0.15
4	Devon. . . .	11.20	49.60	37.40	0.00	0.00	0.00
5	Longport . .	10.00	54.50	16.50	3.13	3.37	0.00
6	Stourbridge .	17.34	45.25	28.77	7.72	0.47	0.00
7	Andennes. .	19.00	52.00	27.00	2.00	0.00	0.00
8	Antragues. .	9.00	71.00	19.00	0.00	0.00	0.00
9	Lautersheim.	13.56	49.00	33.09	2.10	2.00	0.20
10	Valendar . .	8.73	93.27	24.19	1.00	0.00	2.02
11	Gross-Almerode. . .	14.00	47.50	34.37	1.24	0.50	1.00
12	Loshhayn. .	11.70	61.52	20.92	0.50	0.02	4.97
13	Theuberg . .	10.00	59.39	27.94	traces	0.7[illegible]	1.00
14	Gottweith. .	10.00	65.00	20.75	2.00	1.55	traces

1. Argile de l'île de Bornholm (Danemark), plastique, grise, supérieure à la craie; employée pour la confection des cazettes dans la manufacture de Copenhague.

2. Argile de Helsingborg (Suède), plastique, grisâtre; employée dans la fabrication des grès de Scanie.

3. Argile de Gloukoff (Russie), blanche, plastique; base de la porcelaine de Saint-Pétersbourg.

4. Argile de Devon (Angleterre), plastique, grise; base des caillontages anglais; très-estimée.

5. Argile de Longport (Angleterre), plastique, violacée; sert à faire les briques ferrugineuses du Staffordshire.

6. Argile de Stourbridge (Angleterre), noire, peu plastique, provenant du terrain houiller, infusible; sert à faire les creusets à fondre l'acier, les briques réfractaires, etc.

7. Argile d'Andennes (Belgique), plastique, blanche; employée dans les faïenceries d'Andennes; sert à faire des creusets, des pots de verrerie, etc.

8. Argile d'Antragues (Belgique), plastique, grise, très-estimée pour faire des pots de verrerie, des cornues de distillation pour les fabriques de gaz d'éclairage, des briques réfractaires, des faïences, etc.

9. Argile de Lautersheim (Prusse), plastique, blanchâtre; base des poteries fines de Mettlach, de Vaudrevanges, de Sarreguemines.

10. Argile de Valendar (Prusse), plastique, grisâtre; base des poteries fines de Mettlach, des grès du Rhin, etc.

11. Argile de Gross-Almerode (duché de Hesse), plastique, grise, inférieure aux terrains lignifères, très-pure; très-estimée pour faire les creusets de Hesse. Ces creusets sont fabriqués avec un mélange d'argile et de sable quartzeux; ils supportent sans se fêler les changements de température les plus brusques.

12. Argile de Loshhayn, près Meissen (Saxe), noirâtre, mêlée de quartz; sert à fabriquer les cazettes dans la manufacture de Meissen.

13. Argile de Theuberg (Bohême), plastique et grise, douce au toucher, inférieure aux terrains de

lign'te; employée dans la manufacture d'Elbogen pour fabriquer les cazettes à cuire la porcelaine.

14. Argile de Gottweith, près Krems (Autriche), d'un vert sale pâle, mêlée de taches ferrugineuses; employée dans les manufactures de Vienne pour la confection des cazettes.

Dans toutes ces argiles, il y a plus ou moins de potasse ou de soude qui n'ont pas été dosées; la présence de l'alcali peut modifier un peu les qualités qu'on serait, à première vue, tenté d'attribuer à ces argiles d'après leur teneur en alumine.

Les argiles sont très-abondantes dans la nature; elles se présentent généralement en couches assez régulières dans les terrains appelés stratifiés, formés au sein des eaux, soit douces, soit marines, intercalées entre les couches de grès, de calcaires, etc. On y trouve très-souvent des débris organiques fossiles, animaux ou végétaux; elles sont évidemment le produit d'un dépôt formé par une matière primitivement en suspension au sein d'un liquide charriant des matériaux de transport.

Les argiles existent dans presque tous les terrains stratifiés.

Les argiles plastiques et réfractaires sont supérieures à la craie, et appartiennent à la base du terrain tertiaire; on en trouve dans le terrain houiller. Les argiles mêlées de calcaires sont beaucoup plus répandues: elles appartiennent à tous les terrains stratifiés (oolithe), craie, terrains tertiaires; les argiles rouges sont assez abondantes. Nous allons voir que les argiles sont des kaolins transportés, qui, dans leur transport, ont été souillés par des matières étrangères.

Une seule matière argileuse, la terre à porcelaine qu'on nomme kaolin, fait exception à cette règle générale et se présente sous forme d'amas tout à fait irréguliers au milieu des roches primitives, comme le granite, le gneiss, entremêlée d'autres roches que leur analogie avec les roches volcaniques indique comme ayant originairement possédé l'état de fusion.

On distingue les kaolins argileux, sablonneux, caillouteux.

Tantôt le kaolin se présente en masses onctueuses, très-blanches, douces au toucher, liantes et plastiques, avec tous les caractères d'une véritable argile; c'est un kaolin *argileux*. Tantôt la décantation laisse une quantité de grains fins de quartz et de feldspath; c'est le kaolin *sablonneux*.

Tantôt enfin le gîte de kaolin se compose d'une masse blanche qui s'égrène entre les doigts, mais qui n'est pas plastique; délayée dans l'eau, cette matière se désagrége et donne un kaolin pur, véritable argile qu'on sépare par l'évigation des grains plus ou moins volumineux de quartz ou de feldspath; c'est le kaolin *caillouteux*.

L'étude des gîtes de kaolins a permis de préciser l'origine des roches que l'aspect extérieur éloigne, en apparence seulement, des véritables argiles. En effet, les kaolins ne se sont montrés associés jusqu'à ce jour qu'avec les roches suivantes:

Les pegmatites, à Saint-Yrieix (Haute-Vienne), à Cambo, dans les Pyrénées; à Saint-Stephen, dans les Cornouailles.

Les gneiss, à Passau, à Saint-Yrieix.

Les granites, à Hall, près Schneeberg.

Les eurites, à Tretto, dans le Vicentin.

Les porphyres, en Saxe, à Morl, près de Hall.

Or, toutes ces roches, au milieu desquelles le kaolin se trouve enclavé, renferment un élément commun qui est le feldspath.

Ce silicate, répandu dans la roche, soit à l'état de cristaux, soit à l'état de pâte réunissant les cristaux parfaits, se montre souvent intact, et souvent aussi sans résistance et sans solidité; l'examen attentif de la roche démontre d'une manière évidente que ce sont les parties feldspathiques qui se sont transformées en cette matière blanche de nature argileuse, qu'une décantation permet d'isoler et qui a tous les caractères d'un kaolin.

On trouve même des cristaux de feldspath imparfaitement décomposés.

La conclusion la plus naturelle qu'on puisse tirer de l'observation de ce dernier fait est que le kaolin provient de la décomposition du feldspath sous certaines influences atmosphériques. La connaissance des compositions chimiques des deux matières conduit au même résultat:

Le feldspath renferme :			Le kaolin supposé pur contient :		
$4\,(SiO^3)$	silice. . . .	64.8	SiO^3	silice.	39.5
Al^2O^3	alumine . .	18.3	Al^2O^3	alumine . . .	44.8
KO	potasse. . .	16.9	$2\,(HO)$	eau	15.7
		100.0			100.0

En rapportant les deux compositions à la même proportion d'alumine égale à 100, on aura:

	Pour le feldspath.	Pour le kaolin.
Alumine.	100	100
Silice	342	88
Potasse	92	0
Eau	0	35
	524	223

Ainsi le feldspath perd les trois quarts de la silice et gagne de l'eau. On peut représenter cette réaction par la formule chimique

$$4\,(SiO^3)\,KO,\ Al^2O^3 + 2\,(HO) = \begin{cases} 3\,(SiO^3)\,KO \\ SiO^3,\ Al^2O^3,\ 2\,(HO). \end{cases}$$

La matière s'est transformée en une autre qui ne pèserait plus que les 0.4 environ si la décomposition était complète, ce qui n'a pas lieu généralement; il reste presque toujours de la potasse et de la silice en excès, ce qui semble prouver une altération incomplète.

Les kaolins de toutes les localités contiennent encore des alcalis, comme le démontrent les analyses suivantes:

		POUR 100 PARTIES SÉCHÉES à + 100 degrés.			
		Eau.	Silice.	Alumine.	Alcalis
1	Limousin. .	13.10	48.00	37.00	2.50
2	Nièvre . . .	12.60	49.00	36.00	1.60
3	Bretagne . .	13.00	48.00	36.00	2.00
4	Chine. . . .	14.20	50.00	33.70	1.90
5	Pyrénées. .	14.50	48.00	34.60	2.15
6	Russie . . .	12.60	48.00	36.00	2.40

Quand le granite se décompose, le kaolin est mêlé de mica; en partie décomposé, il est coloré, ferrugineux, et ne peut donner des porcelaines translucides et complétement blanches. Le granite se présente quelquefois sans mica. La roche est alors composée de quartz et de feldspath; on l'appelle pegmatite; c'est la décomposition de la pegmatite qui donne lieu généralement aux gîtes des meilleurs kaolins; le quartz est plus ou moins abondant, le kaolin est alors plus ou moins caillouteux. Quoi qu'il en soit, ces gîtes sont ordinairement très-irréguliers, et le kaolin argileux, qui est très-rare, se trouve sous forme de veines ou d'amas

peu importants au milieu des gîtes de kaolins caillouteux.

Ces roches sont fréquemment associées à des terres rougeâtres, ferrugineuses, qui entourent le gîte. M. Brongniart a conclu de ces observations générales que cette association avait facilité la transformation du feldspath en kaolin.

On a cherché longtemps à expliquer la décomposition du feldspath; diverses réactions se sont présentées à l'esprit.

1° Par une longue ébullition dans l'eau sous une forte pression, le feldspath laisse dissoudre de la silice et de la potasse (Forkhammer); les parois de carrières feldspathiques constamment mouillées se kaolinisent.

2° Du feldspath en poudre humide, mis dans un tube en U dans lequel on détermine un courant électrique, a donné sur l'un des pôles une réaction alcaline au bout de deux ans. (Brongniart et Malaguti.)

Ainsi, un courant électrique, longtemps prolongé, transmis par l'eau, peut à la longue décomposer le feldspath. M. Brongniart en avait conclu que le contact des roches ferrugineuses déterminant un courant électrique pouvait avoir accéléré la décomposition; mais l'eau seule, surtout chargée d'acide carbonique, sous une forte pression, suffit pour déterminer ces transformations, ainsi que l'ont démontré des exemples tirés par M. Fournet des carrières de Pontgibeaud.

La décomposition des granites sur de grandes étendues paraît s'opérer, sans qu'il y ait nécessité d'une action électrique, par la simple action de l'eau, de l'air et de l'acide carbonique. Les roches en décomposition sont constamment lessivées; l'acide carbonique que l'eau tient en dissolution forme du carbonate de potasse, et la silice est à son tour entraînée par cette dissolution alcaline.

La formation du nitre peut encore enlever des alcalis à l'état d'azotate; c'est ainsi que s'explique la formation des nitrières de l'Espagne et de la Barbarie.

L'étude des gîtes de kaolins fait voir que les roches sont surtout décomposées près de la surface du sol; pegmatites et granites se comportent de même; en descendant en profondeur, on est presque certain de rencontrer la masse inaltérée, et l'on peut avancer que les causes qui ont agi n'ont pas transformé les silicates au delà d'une vingtaine de mètres. Comme la pegmatite en s'altérant diminue beaucoup de volume, on peut expliquer, au moins dans de certaines limites, le désordre qu'on remarque dans les relations que présentent les diverses roches mises à nu par l'exploitation des carrières.

Il est évident d'ailleurs que les différents granites, j'ajouterai même, les divers points d'une même formation granitique, présentent de grandes différences entre eux sous le rapport de la facilité avec laquelle leur décomposition s'opère.

Le rendement des kaolins bruts est excessivement variable, souvent d'un point à un autre du même gisement.

Le kaolin argileux laisse quelquefois 0,03 de sable dont la nature est tantôt siliceuse, tantôt feldspathique. La proportion de ce résidu peut s'élever jusqu'à 0,15 ou 0,20, mais c'est un maximum assez rare.

Le kaolin caillouteux ne donne souvent au lavage que 0,20 d'argile pure, quelquefois il en produit 0,70. Des différences de même ordre sont observées dans le lavage des kaolins sablonneux.

Les kaolins s'exploitent à ciel ouvert et par gradins. Les matières montées au jour par des femmes ou des enfants sont épluchées avec un grand soin; on rejette les parties ferrugineuses, qu'on distingue facilement à la vue. On enlève avec un couteau les veinules ocreuses dont les masses sont injectées, et les matériaux ainsi dépouillés de fer sont mis de côté pour servir à la confection des pâtes de porcelaine.

Dans le Limousin, les pâtes se composent directement avec les variétés de kaolin caillouteux, sans lavage, auxquelles on ajoute 1° des kaolins argileux, qui sont rares et également non lavés; 2° des cailloux, et 3° des argiles qu'on nomme *décantées* et qui proviennent du lavage des rebuts que laisse l'épluchage.

En Angleterre, dans le Nivernais ou l'Allier, on traite par lavage en grand les kaolins bruts, et ce lavage se fait par toutes les méthodes employées dans les arts métallurgiques pour le débourbage et la séparation des minerais de leurs gangues inutiles.

Les kaolins ont dans le commerce des valeurs différentes, suivant leurs qualités. Le plus estimé, le plus coûteux, mais aussi le plus rare, est le kaolin argileux. On le trouve à Limoges, aujourd'hui, rendu en gare au prix de 13 à 15 francs les 100 kilog. à l'état sec. L'argile décantée ne vaut guère que 6 à 8 fr. les 100 kilog.

La formation du kaolin n'est pas un fait isolé; rien n'est plus facile que d'y rattacher l'origine des argiles et de toutes les matières sédimentaires. Le kaolin est une argile en place; l'argile est le kaolin transporté qui, dans son transport, s'est trouvé, comme nous l'avons dit, souillé de matières étrangères. Les travaux d'Ebelmen ont expliqué ces phénomènes de la manière la plus philosophique.

La transformation des espèces feldspathiques en kaolin est un fait acquis à la science; ce n'est qu'un cas particulier des altérations que subit ou peut subir la croûte extérieure du globe terrestre. Ce phénomène, accompli sur une très-grande échelle autrefois, s'accomplit probablement encore tous les jours, et l'élément feldspathique n'est pas le seul qui se trouve altéré; des silicates, qui ne renferment pas d'alcalis, sont souvent aussi décomposés, et la liste des roches ou minéraux examinés attentivement et trouvés dans des états d'altération que l'analyse chimique a permis de suivre pour ainsi dire pas à pas, montre d'une manière évidente que la transformation du feldspath en kaolin rentre dans le fait général de la décomposition des silicates sous l'influence des agents atmosphériques.

On a constaté l'altération en quelque sorte kaolinique dans le bisilicate de manganèse d'Alger, dans le bisilicate de manganèse de Saint-Marcel, dans la bustamite de la mine d'argent de Tétala (Mexique), dans le grenat mélanite de Beaujeux (Rhône), dans le basalte du Crouzet, dans le basalte de Polignac (Haute-Loire), dans le basalte du Krammer-Bull, près Eger (Bohême), dans le gran-stone des environs de Saint-Austell (Cornwall), dans le basalte de Linz (bords du Rhin). Or, dans tous ces minéraux, dans toutes ces roches, on a vu la plupart des éléments disparaître, et l'alumine se concentrer dans les résidus en combinaison avec l'acide silicique avec fixation d'une certaine quantité d'eau.

En généralisant le fait de cette décomposition et l'étudiant en dehors de toute hypothèse sur les causes premières de l'altération, on peut résumer ainsi les principes qui régissent la décomposition des silicates sous l'influence des agents atmosphériques.

1° Dans la décomposition des silicates contenant de la chaux, de la magnésie, des protoxydes de fer et de manganèse, sans alumine, on trouve constamment que la silice, la chaux, la magnésie sont éliminées et tendent à disparaître complétement par le fait de la décomposition; tantôt le fer et le manganèse restent dans le résidu à un état d'oxydation supérieur au protoxyde, tantôt ils disparaissent comme les autres bases.

2° Dans la décomposition des silicates contenant de l'alumine et des alcalis avec ou sans les autres bases, l'expérience prouve que l'alumine se concentre dans le produit de la décomposition, en retenant une partie de la silice et en fixant une certaine quantité d'eau, pendant que les autres bases sont entraînées avec une grande partie de la silice.

Le produit final de la décomposition se rapproche de plus en plus de la composition d'un silicate d'alumine hydraté.

Comme conséquence de ces faits, on admettra que toutes les roches ignées contenant de l'alumine laissent par leur décomposition un résidu argileux plus ou moins pur, plus ou moins mélangé de quartz, d'oxyde de fer, etc., suivant la nature de la roche primitive et suivant les circonstances qui ont accompagné son altération.

Si, de plus, on considère que presque toutes les roches d'origine ignée sont sujettes à la décomposition, sous l'influence atmosphérique, on pourra facilement rattacher à la décomposition de ces terrains, qui sont si répandus dans la masse de la terre, la formation des matières argileuses. On peut faire remarquer à l'appui de cette opinion que l'on ne rencontre que par exception, dans les terrains stratifiés, des silicates à plusieurs bases analogues à ceux des roches plutoniques, tandis que le silicate d'alumine hydraté, l'argile, en forme l'élément principal.

Toutes les argiles enfin renferment, comme M. Mitscherlich et d'autres chimistes l'ont démontré, des quantités d'alcalis qui prouvent leur communauté d'origine avec les kaolins.

La promptitude avec laquelle la roche, amenée de la sorte à l'état terreux, peut être délayée dans les eaux pluviales, explique d'une manière simple son entraînement par voie mécanique jusque dans les terrains marins ou lacustres où les matières se sont déposées.

On trouverait difficilement une autre origine aux masses argileuses des terrains stratifiés ; personne ne saurait voir dans ces matières le résultat d'une simple désagrégation des roches ignées.

Elles diffèrent de celles-ci par leur composition chimique moins complexe, par l'eau qu'elles renferment en combinaison, par leurs propriétés physiques, par leur plasticité et leur infusibilité.

Cette explication paraît satisfaire d'une manière complète à toutes les conditions du problème ; on explique ainsi toutes les variétés que présentent ces couches, soit dans leur composition, soit dans leur nature ; car les eaux qui entraînent l'argile en suspension enlèvent en même temps d'autres matières de grosseur et de densité différentes qui peuvent se mêler avec les dépôts argileux (sable, mica) ; ces dépôts mécaniques se mélangent nécessairement d'ailleurs avec les autres corps qui se précipitent chimiquement dans le même bassin, comme la silice qui a été dissoute et qui se sépare sous l'influence de l'acide carbonique de l'air ou de l'eau pure elle-même, comme les carbonates de chaux et de magnésie, comme l'oxyde de fer, etc.

Si l'on applique aux kaolins les procédés d'analyse rationnelle que nous avons décrits plus haut, on trouve qu'en général, en négligeant les résidus éloignés par les lavages successifs, par l'acide sulfurique et la potasse, les formules qui représentent la composition de l'hydrosilicate d'alumine contiennent l'alumine et l'eau dans des proportions définies dans le rapport de 1 à 2.

Les analyses dues à M. Malaguti le démontrent évidemment.

Le tableau qui suit contient les résultats des analyses sur lesquelles MM. Brongniart et Malaguti purent établir leur théorie. La première colonne contient le poids du résidu, c'est-à-dire le silicate insoluble dans les acides et les alcalis, après plusieurs traitements successifs ; il est étranger à la constitution chimique du minéral. La deuxième et la troisième colonne contiennent les proportions d'alumine et de silice abandonnées aux agents acides et basiques employés pour l'attaque. La dernière renferme l'eau de combinaison nécessaire à la constitution de l'argile.

		Résidu.	Silice.	Alumine.	Eau.
1	Saint-Yrieix	9.76	42.07	34.65	12.47
2	Los Pieux. .	9.67	42.44	34.51	12.09
3	Clos-Mad^me	8.96	39.91	36.37	12.94
4	Chabrol. . .	24.87	32.93	29.88	10.73
5	Cornouailles	19.65	46.61	24.06	8.74
6	Devon . . .	4.10	44.26	36.81	12.74
7	Chiesi . . .	8.44	45.03	32.24	11.36
8	Piémont . .	48.04	23.94	21.44	7.42
9	Passau . . .	4.50	42.45	37.08	12.83
10	Aue.	18.00	35.98	34.12	11.09
11	Seidlitz. . .	12.33	40.78	34.16	12.40
12	Hall	43.84	26.10	22.50	7.55
13	Oporto. . .	0.11	40.62	43.94	14.62
14	Sargadelos .	5.64	43.25	37.38	12.83
15	Wilmington	22.81	32.69	35.04	12.42

Les analyses 1, 2, 6, 11, 12, 14, correspondent à la formule

$$4\,(Si\,O^3),\ 3\,(Al^2\,O^3) + 6\,(HO).$$

Les analyses 3, 4, 6, 9, correspondent à la formule

$$5\,(Si\,O^3),\ 4\,(Al^2\,O^3) + (HO).$$

L'analyse 7 donne la formule

$$3\,(Si\,O^3),\ 2\,(Al^2\,O^3) + 4\,(HO).$$

Les analyses, 5, 13 et 15 conduisent à la formule

$$2\,(Si\,O^3),\ Al^2\,O^3 + 2\,(HO).$$

Les nombres inscrits dans la deuxième colonne présentent généralement plus de silice que d'alumine ; or si l'on traite le kaolin brut par une lessive étendue de soude caustique, on enlève précisément cet excès de silice qui est à l'état gélatineux, hors combinaison.

Dans tous ces kaolins, les compositions se présentent, en définitive, par les formules beaucoup plus simples

$$Si\,O^3,\ Al^2\,O^3 + 2\,(HO).$$

Les kaolins de Cornouailles et d'Oporto n'ont rien perdu. Or nous savons que la formule

$$Si\,O^3,\ Al^2\,O^3 + 2\,(HO)$$

est précisément celle que donne l'équation par laquelle nous avons représenté l'altération du feldspath. La présence de la silice libre s'explique avec non moins de facilité. La combinaison

$$3\,(Si\,O^3),\ KO,$$

qui est insoluble, se décompose à son tour en

$$Si\,O^3 + 2\,(Si\,O^3)\,KO$$

en partie soluble, et la présence de la silice gélatineuse est une conséquence de cette altération.

De ces expériences, nous déduisons avec MM. Brongniart et Malaguti, dont nous transcrivons les conclusions si nettement posées dans un travail remarquable :

1° Les kaolins normaux, à l'état brut et seulement débarrassés par le lavage des corps grossiers qui leur sont étrangers, sont un mélange d'argile kaolinique, et d'un résidu qui ne se dissout ni dans les alcalis, ni les acides, renfermant des silicates à diverses bases.

2° L'argile de kaolin est une combinaison de silice, d'alumine et d'eau, dans des proportions définies, à peu près toujours les mêmes et qu'on peut représenter par une formule invariable.

3° Mais il y a dans beaucoup de ces argiles un excès de silice hors de combinaison, susceptible d'être dissoute, suivant certaines règles, dans la potasse caustique et qui se sépare nettement du silicate d'alumine hydraté, constituant la véritable argile kaolinique. Le

silicate d'alumine, débarrassé de cet excès de silice, donne une formule plus simple et plus générale que nous appellerons formule définitive :

$$SiO^3, Al^2O^3 + (HO).$$

4° Cet excès de silice dans les argiles kaoliniques peut être regardé comme le résultat d'une action électrique, qui d'abord a transformé successivement le feldspath en argile de kaolin et en silicate de potasse insoluble ; puis qui a, par une nouvelle action, dédoublé ce dernier en silicate soluble et en silice qui reste dans le mélange avec l'argile.

5° Enfin, la variabilité dans la proportion de cet excès de silice dans les différentes argiles kaoliniques peut dépendre de l'action postérieure des eaux naturelles qui ont dépouillé ces argiles d'une plus ou moins grande quantité de silice dissoluble.

Les gîtes de kaolin sont, en France, assez nombreux ; on connaît ceux de Saint-Yrieix et de Cherbourg ; les départements de la Nièvre et de l'Allier sont riches en kaolins de bonnes qualités. Les environs de Brest paraissent devoir fournir des carrières exploitables et de qualités supérieures, capables de lutter avec celles des kaolins de Bayonne, entrés en concurrence depuis longtemps avec les terres du Limousin.

La formule

$$SiO^3, Al^2O^3 + 2(HO),$$

par laquelle nous avons représenté la composition de la généralité des kaolins, ne pourrait représenter d'une manière absolue tous les kaolins, quelle que soit leur provenance, quelles que soient les circonstances dans lesquelles ils se sont formés, quelle que soit enfin la formule de la matière minérale de laquelle ils dérivent. Dans leur important travail, MM. Brongniart et Malaguti avaient rencontré des anomalies. Il est probable que ceux des kaolins dont les analyses rationnelles ont conduit à des formules compliquées par rapport à celle que nous venons d'admettre, appartiennent à des types différents ayant une origine différente.

C'est sans doute à ces types qu'il convient de rattacher certaines matières argileuses très-hydratées, auxquelles on donne les noms de collyrites, d'halloysites, de lenzinites, de smectites, etc.

Ces substances, qui peuvent être employées dans la fabrication des poteries, diffèrent des kaolins par leur homogénéité; elles diffèrent encore des argiles proprement dites parce qu'elles se présentent en place, c'est-à-dire parce qu'elles ne paraissent pas avoir été soumises à des transports qui les ont souillées de quartz, de mica, de pyrites, etc.

Je donne dans le tableau suivant la composition de quelques-unes de ces matières, et les formules par lesquelles on peut les représenter :

		SiO^3.	Al^2O^3.	HO.
1	Halloysite de Saint-Jean-de-Colle	45.55	22.60	26.20
2	Halloysite de Montmorillon	51.40	20.68	25.34
3	Lenzinite de Saint-Sever . .	48.40	36.80	13.00
4	Lenzinite de la Villate. . .	36.30	36.00	21.50
5	Lenzinite de Hall	39.50	37.50	25.00
6	Smectite de Condé.	43.00	32.50	21.07

Ces chiffres conduisent aux formules :

$$2(SiO^3), Al^2O^3 + 7(HO),$$
$$2(SiO^3), Al^2O^3 + 9(HO),$$
$$(SiO^3), Al^2O^3 + 2(HO),$$
$$(SiO^3), Al^2O^3 + 3(HO),$$
$$(SiO^3), Al^2O^3 + 4(HO).$$

Je néglige ici les matières étrangères à la constitution des minéraux. On voit combien ces substances sont différentes; on comprend que, par leur mélange avec les argiles de kaolin pur, elles puissent en altérer la composition et masquer la véritable nature de ces matières minérales.

On trouve quelques-unes de ces substances au milieu même de masses argileuses, comme si leur formation avait de l'analogie avec celle des silex de la craie réunis en rognons ; la singularité de ces gisements explique la bizarrerie de certaines masses argileuses qui, loin de se présenter en lits stratifiés régulièrement, affectent au contraire des allures très-accidentées.

Quelques argiles, même parmi les argiles éminemment plastiques, se présentent en amas à peu près lenticulaires ou ellipsoïdaux allongés, dont l'exploitation, en raison même de cette circonstance, est suivie rarement avec régularité. Nous citerons comme appartenant à cette espèce les meilleures argiles de Dreux et de Montereau ; elles se rencontrent dans des amas argileux plus ou moins plastiques, mais qu'il faut éloigner par une exploitation intelligente, parce qu'ils n'offrent ni la blancheur ni la plasticité des nodules ou noyaux que l'industrie estime au plus haut degré.

SALVÉTAT.

B

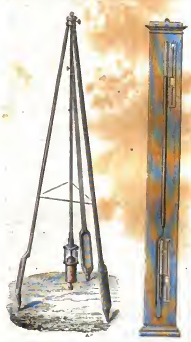
BAROMÈTRE (*angl.* barometer; *allem.* schwermesser). Instrument qui sert à déterminer la pression de l'atmosphère. Ce fut Galilée qui conçut le premier l'idée du baromètre, et elle lui fut suggérée par l'analyse du fait que l'eau ne pouvait s'élever dans les corps de pompe au-dessus d'une hauteur invariable, c'est-à-dire 32 pieds ou 10 mètres 26 cent., ne pouvant admettre que l'explication alors reçue que *la nature a horreur du vide* dût être complétée par l'étonnante addition que cette horreur s'arrêtait à 32 pieds. Toricelli, disciple de Galilée, construisit le premier baromètre; il fit connaître cet instrument en 1643, et des expériences simultanées amenaient à la même découverte Otto de Guericke, l'inventeur de la machine pneumatique. On a donné diverses formes à cet instrument; nous les décrirons rapidement.

Le *baromètre à cuvette*, celui de l'invention de Toricelli, se compose d'un tube de verre long d'environ 90 centim., qui, après avoir été rempli de mercure, est renversé par son extrémité ouverte dans une cuvette également remplie de mercure. Le mercure ne s'élève que vers 76 centimètres, par suite à la partie supérieure existe un vide que l'on nomme *chambre barométrique*, ou *vide barométrique*, dans lequel le mercure peut se mouvoir librement. Lorsque l'on fait répondre le zéro de l'échelle au niveau du mercure de la cuvette, on voit que, malgré la communication établie entre le liquide de cette cuvette et celui du tube, ce dernier s'élève à environ 760 millimètres ou 28 pouces au-dessus de l'autre : inégalité de niveau qui est due évidemment à la pression de l'air extérieur sur la surface du mercure contenu dans la cuvette; la colonne de mercure faisant équilibre à cette pression de l'atmosphère. Si à la place du mercure on em-

ployait de l'eau, qui est 13 fois 1/2 moins pesante que le mercure, la colonne s'élèverait à une hauteur 13 fois 1/2 plus grande, c'est-à-dire à 32 pieds ou 10m, 26, hauteur à laquelle elle parvient en effet dans les tuyaux de pompe, comme l'avaient très-bien remarqué les fontainiers.

On reconnaît qu'un baromètre est bien construit, lorsqu'en inclinant son tube on entend un petit choc sec du mercure contre le bout du tube, qu'il va frapper sans éprouver de résistance. Cet effet n'est produit qu'autant qu'on a bien chauffé le tube avant d'introduire le mercure chaud, pour éviter toute trace d'humidité, de vapeur d'eau, qui fausse les indications du baromètre. Par la même raison, il faut que le mercure soit très-pur pour posséder sa densité normale.

Dans le *baromètre Fortin* (fig. 3408), la cuvette se



3408. 3409.

compose d'un fond en peau, qu'une vis fait monter et descendre à volonté, et la partie supérieure de cette cuvette porte une petite pointe en ivoire à l'aide de laquelle on obtient un niveau constant. Ce baromètre est portatif; il est enfermé dans un étui en métal, fendu sur les côtés, et portant des divisions; et la cuvette est recouverte d'une peau perméable à l'air, mais qui ne l'est point au mercure.

Le *baromètre à siphon* est formé par un tube recourbé en U, à branches inégales, mais de même diamètre; la dépression due à la capillarité dans le tube, dont il faut tenir compte avec le baromètre à cuvette, se trouve alors semblable des deux côtés et n'a plus besoin d'être corrigée. — Le *baromètre de Gay-Lussac* (fig. 3409) est à siphon, et ses deux branches sont séparées par une portion de tube capillaire dont le diamètre est assez fin pour que l'air ne puisse traverser le mercure et le déplacer. L'extrémité de la courte branche est fermée, sauf qu'elle présente, sur le côté, une petite ouverture par laquelle l'air peut entrer, mais sans permettre au mercure de sortir. Grâce à cette disposition, ce baromètre peut être retourné sans inconvénient et est facilement transportable.

Le *baromètre à cadran*, autre instrument à siphon, est disposé de manière à faire mouvoir une aiguille. Un petit poids pèse sur la surface du mercure; on y attache un fil qui s'enroule sur une poulie et qui porte un contre-poids à son extrémité. Quand le mercure monte ou descend dans la branche courte, le flotteur suit le mouvement et fait marcher l'aiguille. Mais les frottements et les adhérences rendent la marche de cet instrument très-irrégulière, et par conséquent ses indications peu exactes.

Citons encore un curieux instrument que l'on a construit récemment : c'est le *baromètre à équerre*, disposition qui offre l'avantage d'amplifier beaucoup les mouvements apparents du mercure, et, par suite, de faciliter la mesure de ses variations. C'est un baromètre à cuvette, dont la cuvette est remplacée par un long tube horizontal, de diamètre assez petit. Les faibles variations de hauteur de la colonne verticale produisent dans la colonne horizontale des variations considérables, dix fois plus grandes si l'on veut, en raison du rapport du diamètre des deux tubes.

Cassini et Bernoulli avaient déjà tenté cette disposition, mais l'emploi qu'ils avaient fait d'un tube capillaire avait rendu l'instrument tout à fait défectueux. M. de Celles, qui a inventé de nouveau ce baromètre, l'a rendu plus pratique par l'emploi d'un petit index en fer placé sur la surface du mercure dans le tube horizontal.

Variations horaires. — Le baromètre offre quelques phénomènes curieux et assez incomplètement étudiés jusqu'ici. Outre les mouvements extraordinaires du mercure, il en est de périodiques, et que les physiciens ont reconnus sans pouvoir en bien fixer les causes. Le métal oscille sans cesse dans le tube, et on a remarqué qu'il est à sa plus grande hauteur à 9 heures du matin, descend jusque vers 4 heures du soir, atteignant à midi la hauteur moyenne. Il remonte jusqu'à 11 heures du soir, redescend durant la nuit, puis remonte enfin jusqu'à 9 heures du matin. Les variations du mercure, causées par les grands changements de l'atmosphère, se combinent avec les mouvements périodiques, et par leur grandeur masquent ceux-ci; mais on vient à bout de s'en rendre indépendant, en prenant les moyennes des observations, faites à la même heure, pendant un long temps, parce que les écarts dus aux causes accidentelles se compensent. L'étendue de ces excursions diurnes varie avec les lieux et les saisons, ce qui montre leur relation avec l'échauffement et le refroidissement de l'air.

Nous rapporterons ici la théorie formulée par M. Kœmtz, qui nous semble tout à fait irréfutable :

« Toutes les fois qu'une portion de l'atmosphère se trouve plus échauffée que les parties voisines, l'air chaud détermine par sa légèreté spécifique un courant ascendant, et vient dans les régions supérieures se déverser sur les parties voisines. Il en résulte une diminution de pression atmosphérique dans la partie où se produit le courant ascendant, et une augmentation dans les lieux au-dessus desquels se déverse l'air chaud. On peut donc poser ce principe : « Quand le baromètre » baisse dans un pays, cela tient à ce que la tempéra- » ture de ce pays est plus élevée que celle des contrées » avoisinantes, soit parce qu'il s'est échauffé directe- » ment, soit parce que les contrées voisines se sont re-

« froidies ; au contraire, l'ascension du baromètre « prouve que ce pays devient plus froid que ceux qui « l'entourent. » En parlant de ce principe, M. Kœmtz explique d'une manière satisfaisante les variations diurnes et annuelles du baromètre. « En effet, tant que le soleil est dans notre méridien, il échauffe la portion du globe terrestre située entre les lieux pour lesquels il se couche et ceux pour lesquels il se lève dans ce moment. Cet échauffement est surtout très-marqué entre les méridiens qui marquent neuf heures du matin et trois heures du soir, tandis que le soleil marque midi pour nous. Dans cet intervalle, l'air se dilate, s'élève, s'écoule vers les régions voisines, et le baromètre baisse ; mais il monte au contraire sous le poids des masses d'air qui se sont écoulées, entre les méridiens de trois heures et de onze heures, puis de cinq heures de la nuit et de neuf heures du matin. Dans le dernier de ces espaces l'atmosphère est moins élevée parce que l'influence nocturne n'est pas encore détruite, et l'air s'écoule au-dessus d'elle. A cinq heures, l'air se refroidit parce que la chaleur du jour est passée ; ce mouvement se propage ainsi d'un pays à l'autre. Le baromètre baisse donc entre neuf heures du matin et quatre heures du soir parce que la chaleur du jour a diminué la densité de l'atmosphère, dont la hauteur est moindre de toute l'épaisseur des couches qui se sont écoulées vers les régions voisines : de là les deux *maxima* et le *minimum* du jour. Quant au *minimum* du matin, il est suivi, à l'est de l'endroit où il a lieu, d'un *minimum* de température, et une partie de l'air des contrées occidentales s'écoule de ce côté : de là une baisse du baromètre. »

Marées atmosphériques.—Lorsque l'on assiste, au bord de la mer, au phénomène des marées et lorsque l'on sait que l'air a une mobilité extrême, on se reporte volontiers aux registres d'observations barométriques, qui doivent indiquer des mouvements de l'air en rapport avec les marées atmosphériques que doit également produire la double attraction du soleil et de la lune. Malheureusement les observations rapportées sont en général des moyennes d'un très-grand nombre d'observations, prises à une même heure du jour. Si cela peut suffire pour évaluer l'effet du soleil, qui se confond avec les effets d'échauffement quotidien, il n'en est pas de même pour l'action de la lune qui passe chaque jour à des heures différentes au méridien du lieu, ce qui fait que l'heure de la haute mer varie chaque jour. On voit donc comment le phénomène des marées disparaît complétement et pourquoi le mélange des mouvements réguliers avec des mouvements accidentels fait des registres d'observations barométriques quelque chose de si embrouillé qu'il est impossible d'en rien déduire. De même qu'il est impossible d'étudier les courants marins, dans les parties de la mer sujettes aux marées, sans rapporter les observations à l'heure des marées et par suite à la position de la lune, de même la première condition à remplir pour que des observations du baromètre puissent apprendre quelque chose relativement aux phénomènes locaux, ce serait de les rapporter non à une même heure du jour moyen, qui ne répond nullement à une même position de la terre, relativement à la lune et au soleil, mais au moins à une même position de la lune, qui a tant d'influence sur les marées.

Je regrette de n'avoir pas encore fait des recherches spéciales, suffisantes pour établir complétement les principes qui peuvent permettre de débrouiller, dans cette direction, quelque peu le chaos que présente encore la météorologie : d'émettre sans preuves cette observation. Je dirai seulement que tous les marins savent qu'aux tempêtes qui accompagnent les marées d'équinoxe l'air n'est pas moins agité que la mer.

Le seul travail sérieux que nous ayons pu trouver sur la question, est l'excellente notice publiée par Arago dans l'*Annuaire du bureau des Longitudes* pour 1833, dans laquelle il discute avec une lucidité dont il a emporté le secret, cette question capitale qui est la clef de la météorologie : *La lune exerce-t-elle une action sur notre atmosphère?* Nous lui emprunterons quelques passages dans lesquels il compare les observations barométriques prises dans une longue suite d'années.

La lune exerce-t-elle quelque influence sur la pluie?

Cette question (qui, on le remarquera, se rapporte à l'existence de courants atmosphériques spéciaux, de vents particuliers au lieu de l'observation où un certain vent cause la pluie) a été examinée avec beaucoup de soin en 1830, par M. Schübler, dans un ouvrage allemand qui est à peine connu en France.

On a compté comme jours de pluie tous les jours pour lesquels une chute de pluie ou de neige était indiquée dans les journaux météorologiques, pourvu que la hauteur de la quantité recueillie dépassât 2 centièmes de ligne. Dans la formation des groupes, *le jour même* du premier quartier a été compris dans l'intervalle de la nouvelle lune au premier quartier; *le jour même* de la pleine lune, dans l'intervalle du premier quartier à la nouvelle lune, et ainsi de suite.

Le tableau renferme les résultats, d'abord pour les 20 dernières années, ensuite pour le nombre total de 28 années, dont M. Schübler pouvait disposer. En prenant, à chaque époque, les moyennes de deux jours consécutifs, on avait en vue d'affaiblir les effets des perturbations accidentelles, et d'arriver à une série de nombres un peu plus régulière.

NOMBRE DE JOURS DE PLUIE.

	PENDANT 20 ANS.		PENDANT 28 ANS.	
	Le jour même.	Moyenne de deux jours	Le jour même.	Moyenne de deux jours
Le jour de la nouvelle lune. . . . Le jour suivant. .	105 113	109	148 148	148
Le jour du premier octant. . . . Le jour suivant. .	119 115	117	152 148	150
Le jour du premier quartier. . . Le jour suivant. .	111 113	112	155 151	153
Le jour du deuxième octant. . . . Le jour suivant. .	124 128	126	164 167	165
Le jour de la pleine lune. . . . . . . Le jour suivant. .	116 113	115	162 164	161
Le jour du troisième octant. . . Le jour suivant. .	123 109	117	161 150	155.
Le jour du dernier quartier. . . . . Le jour suivant. .	93 96	94	130 140	135
Le jour du quatrième octant. . . Le jour suivant. .	100 88	94	138 129	133

On voudra bien remarquer que dans l'espace de 20 ans il y a eu 249 révolutions synodiques de la lune, et 318 en 28 ans ; en sorte que cet astre est revenu autant de fois à chacune des positions qu'on vient de considérer.

Ces moyennes, soit pour 20, soit pour 28 ans, indiquent un accroissement assez régulier du nombre de jours pluvieux, depuis la nouvelle lune jusque vers le 2me octant ; ensuite, un décroissement graduel ; enfin un *minimum* situé entre le dernier quartier et le 4me octant.

Quand on possédera une plus longue suite d'observations, il sera facile d'effectuer ces mêmes calculs relativement à tous les jours du mois lunaire. Alors, pour éliminer totalement les effets des causes accidentelles, il suffira de grouper ensemble les nombreuses observations particulières faites, soit le jour de la nouvelle lune, soit le lendemain, soit le jour suivant, etc. En attendant que les richesses météorologiques permettent de suivre cette marche, M. Schübler a essayé d'approcher des résultats qu'elle fournira, en faisant concourir à la détermination des quantités correspondantes aux diverses époques caractéristiques de la lunaison, les moyennes particulières de plusieurs jours précédents et de plusieurs jours suivants. Je n'insisterai pas sur le genre d'interpolation qu'il a suivi, car toutes les méthodes connues auraient à peu près donné les mêmes nombres. Deux mots suffiront, au surplus, pour rendre la table suivante parfaitement intelligible.

En 28 ans il y a eu en Allemagne 4,299 jours de pluie. Pour avoir un nombre rond, M. Schübler a ramené tous ses résultats, par des parties proportionnelles, au cas hypothétique d'un total de 10,000 jours pluvieux. Ainsi, lorsque dans la seconde colonne de la table on lit 290, cela signifie que, sur un espace de temps durant lequel il y a eu 10,000 jours de pluie, les jours pluvieux du quatrième octant, compris dans le même intervalle, ont été au nombre de 290; et ainsi de même pour les autres résultats.

Nombre de fois qu'il pleut, au sud-ouest de l'Allemagne, dans les différentes phases, sur un nombre total de **10,000** *jours pluvieux.*

Le jour de la nouvelle lune. . . .	306	
Le jour du 1er octant.	306	
Le jour du 1er quartier.	325	
Le jour du 2me octant	341,	*maximum;*
Le jour de la pleine lune.	337	
Le jour du 3me octant.	313	
Le jour du dernier quartier . . .	284,	*minimum;*
Le jour du 4me octant	290	

Pilgram chercha déjà, en 1788, si à Vienne, en Autriche, les phases lunaires n'exerçaient pas quelque influence sur la pluie. Voici quels furent ses résultats :

Sur **100** *observations de la même phase :*

Nouvelle lune	26 chutes de pluie.
Moyennes des deux quartiers.	25
Pleine lune	29

Ici, comme à Augsbourg et à Stuttgard, la pleine lune offre plus de jours pluvieux que la lune nouvelle. La comparaison ne saurait être poussée plus loin, puisque les quadratures, pour Vienne, ne sont pas séparées. Au reste, la similitude que j'ai pu signaler est d'autant plus remarquable, que les capitales de l'Autriche, du Wurtemberg, et Augsbourg, diffèrent extrêmement entre elles, quant à la quantité de pluie qu'on y recueille.

A Vienne, la moyenne annuelle s'élève seulement à.	433 millim.
A Stuttgard, on a trouvé	641
A Augsbourg, la somme énorme de . .	971

Influence de la lune sur la QUANTITÉ *de pluie et sur la sérénité de l'atmosphère.*

A l'aide des 16 années d'observations d'Augsbourg, embrassant 198 révolutions synodiques, M. Schübler a pu former la table suivante, dont on comprendra aisément la signification, si je dis qu'on a considéré comme jours sereins tous ceux où le ciel était sans nuages à 7 h. du matin, à 2 h. et à 9 h. du soir; et comme jours couverts, ceux où il n'existait pas d'éclaircies aux mêmes heures de la journée.

Époques.	Nombre de jours sereins en 16 ans.	Nombre de jours couverts en 16 ans.	Quantité de pluie, en lignes, en 16 ans.
Nouvelle lune . .	31	61	299
1er quartier . . .	38	67	277
2me octant. . . .	25	65	301
Pleine lune . . .	26	61	278
Dernier quartier .	41	53	220

Ces résultats s'accordent assez bien avec ceux qui précèdent. On voit en effet, 1° que les jours sereins sont de beaucoup les plus fréquents au dernier quartier, époque du moindre nombre de jours pluvieux, comme le montre la table précédente; 2° que c'est vers le deuxième octant qu'arrive le plus grand nombre de jours complétement couverts, ainsi que le *maximum* du nombre de jours de pluie.

Quant aux *quantités* d'eau recueillies, le *maximum*, comme il fallait s'y attendre, correspond au deuxième octant, et le *minimum* au dernier quartier.

De la pluie en tant qu'elle est modifiée par la distance de la lune à la terre.

Dès qu'une certaine action de la lune sur notre atmosphère était constatée, on devait naturellement penser que, quelle qu'en fût la nature, les variations de distance de cet astre à la terre auraient sur les phénomènes une influence marquée. M. Schübler a trouvé, en effet, que, durant les 371 révolutions anomalistiques qui ont eu lieu en 28 ans, il a plu :

Pendant les 7 jours les plus voisins du périgée.	1169 fois;
Pendant les 7 jours les plus voisins de l'apogée	1096

Ainsi, toutes choses égales, plus la lune est voisine de la terre, et plus les chances de pluie sont grandes.

Les observations de Vienne ont donné à Pilgram, sur 100 répétitions de la même phase :

Périgée.	36 jours de pluie;
Apogée.	20 jours seulement.

Résumé.

En nous bornant aux principaux résultats, il semble difficile de ne pas conclure de ce qui précède, que la lune exerce une influence sur notre atmosphère; qu'en vertu de cette influence, la pluie tombe plus fréquemment vers le deuxième octant qu'à toute autre époque du mois lunaire; qu'enfin, les moindres chances de pluie arrivent entre le dernier quartier et le quatrième octant.

Ces résultats sont sans doute fort éloignés des idées généralement admises par les géomètres, les physiciens et les météorologistes les plus instruits ; mais que leur opposer ? Ne résultent-ils pas de la discussion arithmétique des observations ? Peut-être dira-t-on qu'on n'a pas embrassé dans le calcul un espace de temps assez étendu ; que les différences entre les nombres de jours pluvieux, correspondant aux diverses phases de la lune, sont purement accidentelles; que si M. Schübler prenait d'autres observations, il arriverait à des résultats entièrement opposés aux premiers; que, par exemple, il trouverait le *minimum* de pluie au deuxième octant, et le *maximum* au quatrième, etc., etc.

Ces doutes ne peuvent être opposés aux faits contenus dans le tableau ci-dessus. Là, en effet, l'influence des phases de la lune se manifeste, et pour la période totale de 20 années, et de la même manière, sans aucune exception, dans cinq courtes périodes, de trois années seulement, que M. Schübler a également formées. Une telle concordance ne saurait être l'effet du hasard.

Sur les hauteurs moyennes du baromètre, dans les différentes positions de la lune.

Les observations sur lesquelles se fondent les résultats que je vais rapporter, ont été faites à Viviers (département de l'Ardèche) par M. Flaugergues. Elles embrassent les 20 années comprises entre le 19 octobre 1808 et le 18 octobre 1828. M. Flaugergues a discuté les seules observations de midi, afin que tout étant constamment égal par rapport au soleil, il ne restât dans les moyennes que les effets dépendants de la lune. Les hauteurs ont été réduites à la température de la glace fondante.

Hauteurs moyennes du baromètre.

Nouvelle lune.	755mm,48
Premier octant	755 44
Premier quartier	755 40
Deuxième octant	754 79
Pleine lune	755 30
Troisième octant	755 69
Second quartier.	756 23
Quatrième octant.	755 50

Pour comparer ces résultats à ceux de M. Schübler, il suffira de se rappeler qu'en général, quand il pleut, le baromètre est bas; en sorte que les chances de pluie doivent augmenter si la colonne mercurielle se raccourcit, et diminuer, au contraire, quand elle s'allonge. D'après la table précédente, si toutefois l'on veut tenir compte des faibles variations qu'elle présente, le *maximum* du nombre de jours de pluie devrait donc correspondre au deuxième octant, et le *minimum* au second quartier. Tels sont, en effet, les résultats qu'a obtenus le physicien de Stuttgard.

Malgré la distance qui sépare Stuttgard de Viviers; malgré la diversité des méthodes, MM. Flaugergues et Schübler parviennent à des conséquences analogues. Il semblerait donc bien difficile, aujourd'hui, de ne pas reconnaître que la lune exerce sur notre atmosphère une action, très-petite il est vrai, *mais qui cependant est appréciable*, même avec les instruments dont les météorologistes font habituellement usage. Cherchons, néanmoins, si ce résultat capital ne pourrait pas encore se conclure d'observations faites dans d'autres lieux.

L'idée fort naturelle que la lune devait agir exactement de la même manière, sur l'atmosphère, d'abord dans le premier et dans le second quartier, ensuite dans la nouvelle et dans la pleine lune, avait amené jusqu'ici les *météorologistes*, dans toutes les discussions auxquelles ils se sont livrés, à réunir ces quatre phases par groupes de deux. Le travail de M. Flaugergues montre qu'à l'avenir il sera nécessaire d'adopter d'autres bases. En ce moment je ne puis pas m'en écarter.

Eh bien! prenons les observations de M. Flaugergues, et nous aurons :

Hauteur moyenne des quadratures. . . .	755mm,81
Hauteur moyenne des syzygies.	755 39
Excès du premier résultat sur le second. .	0 42

Venons enfin aux observations de Paris, que M. Bouvard a discutées, et nous trouverons :

Hauteur moyenne des quadratures . . .	756mm,59
Hauteur moyenne des syzygies	755 90
Différence, toujours dans le même sens .	0 69

Ainsi, plus d'incertitude possible : la lune, dans nos climats, exerce sur l'atmosphère une action très-petite, mais que la combinaison d'un grand nombre de hauteurs barométriques fait ressortir nettement. Il reste à décider de quelle nature est cette action.

Si la lune agissait sur l'enveloppe gazeuse du globe, de la même manière que sur la mer, c'est-à-dire par voie d'attraction; si elle y produisait un double flux et reflux diurne; si les heures des marées atmosphériques changeaient chaque jour, comme les heures des marées de l'Océan, avec l'heure du passage de la lune au méridien; pour déterminer toute l'étendue de l'effet, il faudrait comparer entre elles, *jour par jour* (on me pardonnera l'expression que je vais employer), les hauteurs barométriques correspondantes *aux hautes et aux basses atmosphères*. Or jusqu'ici il n'a été question, dans ce qui précède, que des observations d'une seule heure de la journée, que des observations de midi.

Dans les syzygies, la lune passe au méridien supérieur ou inférieur à midi. Si, en chaque lieu, comme il paraît naturel de le supposer à cause de l'extrême mobilité de l'air, le *maximum* d'effet coïncide, à peu près, avec la présence de l'astre au méridien, les moyennes des seules observations faites à midi, les jours de syzygies, seront des moyennes de *hautes atmosphères*.

A toutes les époques de la lunaison, les *hautes* et les *basses atmosphères* semblent devoir être séparées entre elles, comme le sont les hautes et les basses mers, par des intervalles d'environ 6 heures. Les observations faites à midi, les jours où la lune passe au méridien vers 6 heures du soir ou vers 6 heures du matin, c'est-à-dire vers le premier et vers le second quartier, ou ce qui est la même chose en d'autres termes, à l'époque des quadratures, correspondent donc à de *basses atmosphères*.

Comparer les observations *méridiennes* syzygies aux observations *méridiennes* quadratures, c'est donc comparer entre elles de *hautes* et de *basses atmosphères* lunaires.

On remarquera sans doute que je n'ai pas annoncé encore comment les hautes atmosphères devront se manifester; on demandera s'il faut s'attendre à un mouvement ascensionnel ou à un mouvement descendant du baromètre. Je me bornerai à répondre qu'il m'était inutile en ce moment de décider cette question. Il me suffira, pour arriver au but vers lequel je tends, d'observer que les deux syzygies, si l'action lunaire pouvait être assimilée à celle qui s'exerce sur l'Océan, si, en un mot, elle était attractive, devraient donner les mêmes résultats; qu'il en serait également ainsi des premier et second quartiers comparés entre eux. Or, en jetant seulement les yeux sur la table qui donne les hauteurs qui correspondent aux diverses phases de la lune, tout le monde verra que ces conditions ne sont pas satisfaites. Les inégalités de pression que les observations ont fait reconnaître, doivent donc tenir à quelque cause différente de l'attraction; à quelque cause d'une nature encore inconnue, mais certainement dépendante de la lune.

Après avoir montré que les différences de hauteurs du baromètre à midi et à 9 heures du matin sont sensiblement les mêmes aux syzygies et aux quadratures, comparaison qui ne me paraît pas avoir la valeur qu'il lui attribue, Arago conclut ainsi :

« La marée atmosphérique, en tant qu'elle dépendrait de la cause qui produit les marées de l'Océan, en tant qu'elle serait régie par les mêmes lois, n'aurait donc qu'une valeur insensible. Nous voilà ainsi ramenés, une seconde fois, à reconnaître dans les variations barométriques correspondantes aux diverses phases lunaires, les effets d'une cause spéciale, totalement différente de l'attraction, mais dont la nature et le mode d'action restent à découvrir. »

Cette conclusion de l'illustre savant me paraît devoir être repoussée. De ce que le baromètre ne donne pas des indications suffisantes pour manifester les effets que l'attraction entraîne nécessairement, on n'est pas fondé à conclure que ces effets n'ont pas lieu et qu'une cause nouvelle vient régir les phénomènes. N'est-il pas bien plus probable, bien plus évident même, pour peu qu'on réfléchisse à la manière dont les faits se produisent, que les effets ne peuvent être identiques pour l'air et pour l'eau, fluides d'une mobilité si différente, et qu'en outre l'instrument d'observation est insuffisant et qu'il faut chercher à le compléter par un autre, afin de mesurer un élément du phénomène négligé à tort jusqu'ici? N'est-il pas bien clair que cet élément, c'est l'échauffement et le refroidissement alternatif et quotidien de l'air, par l'effet de la chaleur solaire? Cette cause de courants atmosphériques, qui n'agit pas sur les liquides, dont les effets sur l'air sont tout à fait comparables à ceux de l'attraction, vient modifier profondément la ressemblance qui existerait sans cela entre les marées de la mer et celles de l'atmosphère.

Du changement de temps. — Ce qui précède répond bien clairement à la question de savoir à quel point le baromètre est propre à indiquer le changement de temps, en montrant que ses variations de hauteur dépendent de causes complexes mal connues, mais qui expriment toujours des variations de pression dans l'air, au lieu de l'observation, par suite des mouvements atmosphériques. Or, c'est de vents différents pour chaque contrée, en raison de sa position relativement à la mer, d'où sortent surtout les vapeurs qui forment les nuages, et aux vastes étendues de continent qui les dessèchent, que dépendent la pluie et le beau temps, l'arrivée sur le point de l'observation des nuages qui peuvent donner la pluie, s'ils rencontrent des nuages à des températures différentes de la leur, ou leur envoi sous d'autres parages. Les mouvements du baromètre indiquent quelque chose de cet état de l'air, les variations de pression en raison de l'état dynamique de l'air en mouvement, mais non tous les éléments. Ils indiquent un effet lié à la variation de l'état général de l'atmosphère et rien de plus; ils ne peuvent, pour tous les pays placés différemment par rapport à la mer, indiquer la pluie et le beau temps que par une même variation de niveau. Ce n'est pas à dire toutefois que cette observation n'ait pas quelque peu de valeur pour un observateur attentif qui, en combinant l'observation barométrique avec quelques signes précurseurs et spéciaux au lieu de l'observation, à la saison et à l'heure de la journée, à l'action calorifique du soleil, et surtout la direction du vent, pourra prévoir, quelque peu de temps à l'avance, le mauvais ou le beau temps dans sa contrée.

Mesure des hauteurs par le baromètre. — La diminution de la hauteur de la colonne barométrique en raison du lieu où se fait l'observation, observée par Pascal pour démontrer qu'elle faisait réellement équilibre au poids de l'atmosphère, peut servir à mesurer ces hauteurs. Laplace a donné une formule qui permet d'obtenir ce résultat avec une grande précision; toutefois les petites variations continuelles du baromètre, surtout lorsqu'on compare des lieux à des températures très-différentes, comme la plaine et une montagne couverte de glace, font préférer les observations géodésiques quand elles sont possibles. Le baromètre n'en fournit pas moins une précieuse et assez grande approximation. Nous emprunterons à M. A. Transon l'exposé des principes sur lesquels repose le calcul qui permet de l'obtenir.

Si l'air était un fluide *incompressible*, tel que l'eau par exemple, les hauteurs d'air et de mercure qui se font équilibre par le moyen du baromètre seraient en raison inverse de leurs densités; de sorte qu'en supposant connu le rapport de ces densités, il serait très-facile de calculer la différence de niveau qui produit un abaissement quelconque du baromètre. Mais l'air est un fluide *compressible*, c'est-à-dire un fluide dont le volume dépend de la pression à laquelle il est soumis; et la loi de cette dépendance, c'est que le volume de l'air est *en raison inverse* de sa pression, ce qui revient à dire que *la densité de l'air est proportionnelle à sa pression*. D'après cela, comme les couches inférieures de l'atmosphère supportent les couches supérieures, elles ont une densité plus grande; elles occupent, sous le même poids, un moindre volume; ou bien encore, pour exprimer le même fait sous une autre forme, si on considère dans la colonne atmosphérique deux tranches égales, dont l'une soit prise au niveau du sol et l'autre dans les régions élevées, la première sera trouvée la plus pesante, et par conséquent elle fera équilibre à une plus grande hauteur du mercure. On voit donc que la différence de niveau, relative à un abaissement quelconque du baromètre, ne dépend pas seulement du rapport des densités de l'air et du mercure; elle dépend aussi, et essentiellement, de la loi particulière suivant laquelle la densité de l'air diminue quand on s'élève dans l'atmosphère. La découverte de cette loi était le premier pas à faire pour pouvoir appliquer le baromètre à la mesure des hauteurs. L'honneur en revient au célèbre Halley.

Pour arriver à connaître la loi de décroissement de densité des couches de l'atmosphère, considérons dans la colonne atmosphérique et à une élévation quelconque une tranche formée par deux plans horizontaux. Supposons d'ailleurs ces deux plans assez rapprochés pour que, dans l'espace intermédiaire, la densité de l'air n'éprouve pas de variation sensible. — En passant de l'un à l'autre de ces plans, le baromètre indiquera une différence de pression égale au poids de la tranche, et par conséquent proportionnelle au produit de la pression (ou densité) constante qui a lieu dans cette tranche, multipliée par la distance des deux plans. — D'après cela, si la colonne atmosphérique tout entière était partagée en tranches égales, assez minces pour que la densité de l'air pût être supposée constante dans l'intérieur de chacune d'elles, alors la pression barométrique relative à l'un quelconque des plans de division serait égale à la pression qu'on observerait dans le plan immédiatement inférieur, multipliée par un facteur composé de l'unité diminuée d'une quantité proportionnelle à l'épaisseur de la tranche. Mais puisque toutes les tranches sont supposées avoir la même épaisseur, le facteur en question sera le même pour toutes les tranches, c'est-à-dire que deux pressions consécutives auront toujours le même rapport; et ainsi la suite de toutes ces pressions, à partir du sol jusqu'au haut de l'atmosphère, formera une *progression géométrique décroissante*. D'ailleurs les hauteurs absolues des plans de division forment évidemment une *progression arithmétique*, puisque ces plans sont équidistants. La loi cherchée est donc que *les densités de l'air diminuent en progression géométrique, lorsque les hauteurs croissent en progression arithmétique*. — C'est là ce qu'on doit à Halley.

Il résulte de cette loi et des propriétés des *logarithmes* que la différence de niveau entre deux stations est proportionnelle à la différence entre les logarithmes des nombres qui représentent les pressions observées. Il ne s'agira donc que de multiplier la différence de ces logarithmes par un certain coefficient dont nous allons donner la détermination.

Or, on sait que sur le parallèle de 45 degrés (nonagésimaux), à la température de la glace fondante, et à la hauteur moyenne du baromètre ou niveau des mers, hauteur qui peut être supposée de $0^m,76$, le poids de l'air est à celui d'un pareil volume de mercure dans le rapport de l'unité à 10477,9. Ainsi, dans ces mêmes

circonstances, un centième de millimètre de mercure ferait équilibre à une hauteur d'air égale à 0m,104770, car cette hauteur d'air est assez petite pour que les parties supérieures n'y compriment pas sensiblement les parties inférieures. Donc, lorsqu'on l'élèvera dans l'air de cette quantité, le baromètre passera de 0m,76 à 0m,75999. Ici nous connaissons à la fois les deux pressions barométriques et la différence de niveau correspondante ; il est donc facile de calculer le coefficient constant qui sera égal à la différence des logarithmes tabulaires des nombres 0,76000 et 0,75999 ; cela donne 18336m pour le coefficient.

Un autre moyen de trouver ce coefficient consiste à observer avec beaucoup de soin les pressions simultanées qui ont lieu à deux stations dont la différence de niveau a été préalablement déterminée par des moyens géométriques. C'est la marche que M. Ramond a suivie, et même c'est à l'aide du coefficient ainsi évalué à 18336m, qu'il a déduit le rapport des densités de l'air et du mercure ci-dessus indiqué. Mais dans le même temps, MM. Biot et Arago déterminaient, par des mesures directes, ce même rapport, et ils le trouvaient de 1 : 10463. La petite différence qui existe entre cette valeur et la précédente 1 : 10477,9 n'en produirait pas une de 1 mètre sur la hauteur entière du Chimborazo. D'ailleurs il y a lieu de s'en tenir à la détermination de M. Ramond, au moins dans l'application du baromètre à la mesure des hauteurs, et cela pour des raisons qui seront déduites à l'instant.

Pour mesurer la hauteur d'une montagne par le baromètre, l'opération fondamentale consiste donc à observer simultanément le baromètre en haut et en bas ; prendre dans les tables ordinaires les logarithmes correspondants aux hauteurs barométriques, celles-ci étant nécessairement exprimées toutes deux en unités de même espèce, c'est-à-dire en lignes et fractions de ligne, ou bien en millimètres et fractions de millimètre ; soustraire le plus petit logarithme du plus grand, et multiplier la différence par le coefficient constant. Le produit donnera la hauteur cherchée, en mesures de la nature de celles qui sont entrées dans la détermination du coefficient (par exemple *en mètres*, si on multiplie la différence des logarithmes par 18336). La hauteur ainsi calculée sera juste si on a opéré dans les circonstances qui ont servi à déterminer le coefficient ; sinon il y aura lieu d'appliquer plusieurs corrections dont nous supprimons à regret l'explication, afin de ne pas dépasser les bornes de cet article. Qu'il nous suffise de dire que, jusqu'à notre illustre Laplace, on n'avait eu égard qu'à une partie des circonstances qui peuvent influer sur les résultats de l'opération ; les autres conditions, quoique aperçues et même indiquées par des physiciens célèbres, étaient demeurées sans usage. Elles ont été réunies toutes pour la première fois dans la formule de Laplace, formule entièrement fondée sur les lois générales de l'équilibre des fluides.

Toutefois, il y a une circonstance indiquée dès le commencement de cet article, et dont il n'était pas possible de tenir compte dans l'état actuel de la science ; c'est que la *pression* de l'atmosphère n'est pas toujours identique à son *poids*. Le rapport de ces quantités varie d'un climat à l'autre, et varie dans un même climat avec les saisons, bien plus, avec les heures de la journée. C'est surtout par l'action des vents que la pression de l'air se trouve différente de son poids ; car un vent ascendant déchargera sensiblement le baromètre, tandis qu'un courant descendant augmentera la pression apparente. D'après cela, la méthode de déterminer le coefficient de la formule par des observations faites sur une montagne dont la hauteur a été mesurée géométriquement, doit être préférée à la méthode qui déduirait ce coefficient de la comparaison directe des densités de l'air et du mercure. Il faudra seulement choisir la saison et l'heure auxquelles l'atmosphère jouit du plus grand calme relatif, et le coefficient ainsi déterminé ne conviendra rigoureusement qu'aux mêmes circonstances de climat, de saison et d'heure. Le coefficient de Ramond se rapporte aux climats tempérés ; il doit être employé de préférence pendant l'été, et depuis onze heures du matin jusqu'à une heure après midi.

Les opérations à l'aide du baromètre exigent des soins assez minutieux ; mais leur rapidité et l'exactitude remarquable avec laquelle elles donnent les hauteurs lorsqu'on remplit toutes les conditions du problème, les rendent préférables aux moyens géométriques, surtout pour les voyageurs qui ne peuvent disposer de beaucoup de temps, ni s'embarrasser d'un grand attirail d'instruments.

Nous ne devons pas oublier, en terminant, de faire remarquer que si la hauteur de deux stations, comme de deux sommets de montagne, se trouve déterminée par des opérations barométriques, il suffira de mesurer l'angle apparent d'élévation de l'un de ces sommets au-dessus de l'autre pour être en état de calculer la distance horizontale qui sépare ces deux stations. Voilà donc un moyen facile d'opérer des nivellements considérables, et ce moyen est susceptible d'une très-grande précision. C'est ainsi qu'un simple voyageur, le célèbre Humboldt, a pu établir à très-peu de frais la jonction de Mexico avec le port de Vera-Crux, sur une distance de plus de trente myriamètres. Ceci achèvera sans doute de glorifier l'invention du baromètre dans l'esprit de nos lecteurs.

Baromètres métalliques. — *Anéroïdes.* — La facile rupture du baromètre, la difficulté de son transport en voyage, l'impossibilité de s'en servir à la mer, où ses observations offrent le plus d'intérêt pour faire prévoir les vents, ont fait chercher à construire un baromètre métallique sans liquide.

Tentée sans succès par Conté, la construction de semblables baromètres a été réussie par M. Vidi. Ils consistent en une capacité métallique fermée, dont la partie supérieure est formée d'une plaque mince et cannelée, et de moyens de transmettre à une aiguille indicatrice par suite en les amplifiant beaucoup, les moindres mouvements de cette plaque. Ces petits mouvements seront les résultats nécessaires des changements de pression de l'atmosphère, la quantité d'air renfermée dans la capacité métallique étant constante, n'ayant aucune communication avec l'air extérieur.

La disposition des tubes recourbés, employés avec succès en Allemagne par M. Schintz, en France par M. Bourdon, pour la construction de manomètres propres à mesurer les pressions de la vapeur, était tout à fait convenable pour obtenir des baromètres métalliques d'une excellente construction (fig. 3410). C'est ce que MM. Bourdon et Richard ont fait, sans que nous puissions dire que leur appareil soit plus régulier dans ses indications que celui de M. Vidi, mais il est plus facile de le faire très-sensible. Or, dans les baromètres qui ne sont pas destinés aux observations scientifiques, c'est bien plus l'étendue des mouvements suffisants pour étudier les variations atmosphériques que la proportionnalité des effets qu'il importe d'obtenir.



3410.

BATEAU A VAPEUR. Nous avons résumé dans le premier travail publié dans cet ouvrage, les résultats fournis par la pratique jusque dans ces dernières années. Depuis lors de grands progrès ont été accomplis, le grand navire de guerre à hélice, capable de prendre de grandes vitesses tout en portant un armement formidable, a été construit, et a réalisé la plus puissante machine de guerre qui ait été créée. En même temps le développement des communications à travers l'Océan a conduit à des constructions de magnifiques navires, qui ont pu faire leurs immenses traversées avec une vitesse inconnue jusqu'ici. Le monopole de ces puissants moyens de communication est devenu de telle importance que toutes les grandes nations font des sacrifices considérables pour le partager. La France débuta dans cette voie et une subvention de 14 millions est allouée à trois lignes entre la France, les Antilles, le Brésil et l'Amérique du Nord. C'est assez dire combien la question a d'intérêt pour la France, si bien placée pour effectuer la navigation à grande vitesse entre le continent de l'Europe et l'Amérique, et pourquoi dans cette étude nous nous placerons surtout au point de vue des transatlantiques.

Au lieu de décrire en détail quelques types de construction dont plusieurs parties sont souvent défectueuses, nous passerons en revue successivement tous les éléments du problème, de manière à indiquer pour chacun les perfectionnements qui ont été apportés, les progrès dont la science indique les réalisations comme possibles. Nous terminerons par l'indication des combinaisons d'éléments qui forment les types des principales constructions.

Nous diviserons cette étude de la navigation à vapeur en trois parties :

La première comprendra tout ce qui se rapporte au travail moteur sous trois divisions, la vaporisation, la machine à vapeur, les appareils de propulsion ; la seconde tout ce qui se rapporte au travail résistant, les formes des navires, le mode d'action du fluide sur le corps flottant et du corps flottant sur le fluide. Ce sont les solutions les plus parfaites de ces divers problèmes qui permettent de produire le plus économiquement, au moyen de la combustion du charbon, un travail moteur considérable, bien transmis au corps flottant, dont la résistance deviendra un minimum si on lui donne les formes les plus convenables. La troisième partie comprendra l'étude des combinaisons principales de ces éléments, et notamment tout ce qui se rapporte à la question de la construction des transatlantiques, grands navires devant avoir des vitesses supérieures, question que nous avons surtout en vue dans ce travail. Nous ne négligerons pas tout ce qui se rapporte à la construction des navires de guerre à vapeur pour lesquels une grande puissance de propulsion est également nécessaire, mais doit être en partie sacrifiée au besoin, aux conditions que doit remplir la machine de guerre, tandis que les limites de la puissance des transatlantiques sont purement commerciales.

1re PARTIE. — TRAVAIL MOTEUR.

Les derniers progrès de la science physique, l'expérience notamment que nous rapportons à l'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR, fournit l'indication du maximum théorique de travail que peut donner une quantité de chaleur, et par suite de combustible. Nous avons vu qu'on devait admettre qu'une calorie, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui élève un kilogramme d'eau d'un degré, peut théoriquement produire un travail de 440 kilogr.-mèt. La pratique est bien éloignée du maximum théorique, et il reste des progrès considérables à accomplir avant d'approcher des limites que la théorie indique, dans le voisinage desquels les progrès seraient bien difficiles à réaliser.

Le kilogramme de charbon produisant 7,500 calories peut donc engendrer théoriquement, à raison de 440 kilog.-mèt. par calorie, 1,075,000 kilog.-mèt., et vaporiser 11,5 kilog. d'eau en moyenne, la quantité variant peu avec la pression. Le cheval-vapeur de 75 kilog.-mèt. par seconde, soit $75 \times 3,600 = 270,000$ kilog.-mèt. par heure, devrait être obtenu par une consommation de moins de 1/3 de kilog. de charbon par heure. Les machines de Cornouailles, les plus perfectionnées de toutes, celles qui consomment le moins de combustible, brûlent environ, dit-on, 1 kilog., c'est-à-dire rendent environ 1/3 du travail utile ; plusieurs machines de Woolf consomment 1 k. 20. C'est sûrement un très-beau résultat, eu égard aux pertes considérables qu'il est impossible d'éviter, à la température nécessairement élevée avec laquelle les produits de la combustion sont lancés dans l'atmosphère, au travail consommé par le tirage, qui n'est jamais compté dans le travail utile. Mais il semble que l'on ne se propose qu'un but assez facile à atteindre lorsque l'on cherche à faire des machines à vapeur qui donnent, à la mer, des résultats qui approchent de ceux que donnent les machines de Cornouailles ou de Woolf, et il ne peut être douteux qu'en étudiant les causes du bon fonctionnement de ces dernières, on puisse arriver à les reproduire dans d'autres machines à vapeur.

Dans la navigation à vapeur, les plus importants progrès peuvent être obtenus en restant bien au-dessous d'un semblable degré de perfection, car la consommation de la plupart des machines des bateaux à roues dépasse 4 kilog. par cheval. On est arrivé, dans les nouveaux navires à hélice, à réduire les consommations dans une proportion considérable, et cela par l'application des principes que nous allons exposer. Mais en ne parlant que du premier cas, la réduction de la consommation de 4 kilog. à 2 kilog. seulement, tandis que les bonnes machines terrestres de divers systèmes ne brûlent que 1 k. 50, c'est-à-dire une économie de moitié sur les consommations, monterait à 20,000 fr. au moins par traversée d'Europe à New-York pour un grand bateau transatlantique (indépendamment d'un bénéfice au moins égal qui résulterait du tonnage employé par la houille devenu disponible pour les marchandises), ce qui, pour une compagnie faisant quatre départs par mois, correspondrait à une économie de 2 millions par an pour le seul combustible, et qui s'élèverait à 4 millions avec le concours du fret, c'est-à-dire à une somme supérieure aux subventions accordées par les nations les plus généreuses !

Vaporisation.

Nous avons traité, à l'article CHAUDIÈRES A VAPEUR, de la question générale, et l'admirable article COMBUSTION, dont le savant Ebelmen a enrichi cet ouvrage, est toujours ce qui existe de plus complet, de plus parfait sur la question.

Nous n'avons donc à revenir ici que sur quelques points particuliers, spéciaux à la navigation, que nous emprunterons en grande partie au *Guide du chauffeur*, de M. Gronvelle, dont la nouvelle édition renferme les résultats de l'expérience que de nombreuses constructions ont fait acquérir aux ingénieurs de l'État.

Chaudières. — La nécessité d'éviter la propagation de la chaleur du foyer hors de la chaudière, dans un cas où il est impossible de songer à employer des fourneaux dans lesquels les épaisseurs de briques soient considérables, a fait employer, dès l'origine de la navigation à vapeur, des chaudières à foyer intérieur, qui convenaient évidemment dans ce cas, d'une manière toute spéciale. Restait à leur donner une surface de chauffe suffisante pour la bonne vaporisation que l'on évalue à terre, avec de bonnes cheminées, à 1m,50 par cheval. Cette condition ne peut être satisfaite pour

les bateaux mus par de puissantes machines, car la place manque; on cherche en compensation à augmenter autant que possible le développement du parcours des produits de la combustion, la surface de chauffe indirecte.

Deux systèmes ont été adoptés pour obtenir ce résultat. Celui adopté le plus généralement aujourd'hui et qui a la préférence pour les grandes constructions de la marine militaire, consiste à munir la partie supérieure de la chaudière, pour le retour de la flamme seulement, d'un grand nombre de tubes de 0,08 de diamètre, à imiter la disposition de la chaudière de locomotive. On obtient ainsi une grande surface de chauffe en restant dans des limites d'incrustation supportables (voir INCRUSTATION).

Nous donnons comme exemple les chaudières de *l'Ardente* de 800 chevaux. Les fig. 3411 et 3412 représentent l'une d'elles vue de face et de profil.

L'appareil de vaporisation est formé de plusieurs corps de chaudières semblables. Nous rapporterons ici l'indication des dimensions des diverses parties qui le constituent :

Nombre des chaudières	8
Nombre total des foyers	32

Dimensions d'un corps de chaudière.

Longueur		4^m,30
Largeur	en haut.	3 60
	en bas	2 95
Hauteur		3 30
Longueur d'un foyer.		2 25
Hauteur d'un foyer.		0 98
Longueur d'une grille		2 30
Tubes	longueur.	2
	diamètre extérieur	0 085
	diamètre intérieur	0 080
Nombre de tubes.		234
Épaisseur des tôles.		0^m,01
Diamètre de la cheminée (en haut) . .		2 74
Surface des quatre grilles.		7 912
Surface de chauffe directe		27 35
Surface de chauffe des tubes		417 61
Volume d'eau, en supposant le niveau à 0^m,25 au-dessus des tubes		12^{mc},94
Volume de vapeur		12^{mc},53

Chaudières à galeries. — Dans la pratique l'assemblage des tubes résiste difficilement aux variations de température qui se produisent dans les diverses parties qui composent la chaudière, surtout dès que quelques incrustations commencent à se produire; aussi la plupart des bateaux après une navigation un peu longue rentrent-ils avec nombre de tubes tamponnés avec des bouchons de bois, qui ont médiocrement arrêté les fuites, et les chaudières ont besoin, au port d'arrivée, de l'intervention d'habiles mécaniciens. C'est pour cela que la Compagnie Péninsulaire et Orientale qui opère les transports postaux entre l'Angleterre et l'Inde a conservé, en les perfectionnant, les chaudières à galeries, dans lesquelles la fumée circule autour de cloisons rectangulaires boulonnées, l'eau qui circule dans l'intérieur de ces cloisons s'y trouve entourée de toutes parts par les produits de la combustion. Ces chaudières sont plus coûteuses, offrent moins de surface relative de chauffage que les chaudières à tubes, mais elles paraissent exiger moins de réparations, et précisément parce que les produits de la combustion sont moins refroidis, en même temps qu'ils ne perdent pas toute leur vitesse par des étranglements, par des passages à travers des conduits de faible section, le tirage par la cheminée reste meilleur, ne devient pas insuffisant pour une combustion active, ce qui n'arrive que trop souvent avec les chaudières tubulaires.

Malgré les effets théoriques de ces développements considérables de surface de chauffe indirecte, nous allons voir qu'en réalité on n'obtient pratiquement aujourd'hui une abondante production de vapeur à la mer, que par l'intervention d'une grande quantité de chaleur rayonnante, en multipliant beaucoup les grilles et les foyers, au détriment de la bonne utilisation de la combustion, et au prix des souffrances des malheureux ouvriers chauffeurs, véritablement grillés dans des chambres de capacité insuffisante, où les courants d'air sont trop faibles pour combattre la grande quantité de chaleur rayonnante.

Combustion. — De quelque manière que l'on combine le développement de la surface des chaudières, il est certain, pour quiconque a examiné quelques bateaux à vapeur, que la combustion ne s'y opère pas dans de bonnes conditions. C'est ce que rendent manifeste aux yeux les moins exercés, les flots de fumée noirs qui sortent des cheminées des bateaux à vapeur. C'est qu'en effet le tirage obtenu par une cheminée métallique de peu d'élévation, est tout à fait insuffisante pour dépouiller les produits de la combustion de leur chaleur par une longue circulation. Cette seule vue démontre complétement ce que nous venons de dire de l'emploi prédominant de la chaleur rayonnante du combustible; ce n'est qu'en rejetant dans l'air les produits de la combustion presque aussitôt qu'ils sont formés, qu'on peut parvenir, dans ces conditions, à obtenir des vaporisations considérables mais très-coûteuses.

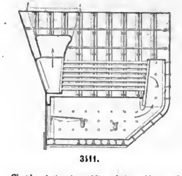
Ainsi donc, avec un tirage peu énergique, on n'utilise pas toute la chaleur des produits de la combustion qui circulent dans des conduits bientôt encombrés de suie, et de plus, trop de charbon sur la grille donne lieu à une production d'oxyde de carbone (voir COMBUSTIBLES), dont la formation refroidit les gaz; aussi voit-on souvent le chauffeur ouvrir les portes pour fournir le supplément d'air nécessaire à une combustion complète.

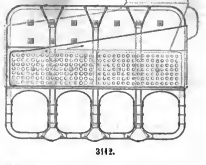
Le remède évident à ces défauts, le seul possible, c'est d'obtenir des tirages plus grands que ceux des constructions actuelles. Une plus grande quantité d'air traversant la grille, l'acide carbonique remplacera l'oxyde de carbone, et les produits de la combustion traversant avec rapidité des conduits qui ne seront plus encombrés de suie, auxquels on pourra donner sans inconvénient une longueur suffisante, leur communiqueront une bien plus grande quantité de chaleur. Bien entendu qu'il s'agit ici de bateaux à grande vitesse et non de caboteurs à vapeur qui doivent être construits à bon marché et naviguer avec le moins de surveillance possible.

Rien ne montre mieux l'influence heureuse d'un puissant tirage que la machine locomotive qui, avec sa seule cheminée, sans le tirage produit par le jet de vapeur à haute pression, n'est plus qu'un corps sans âme, ne peut donner de vapeur. Si l'on cherche à se rendre compte de la réduction de dimensions que permet cet énergique tirage, on reconnaît que l'on peut brûler sur une grille de locomotive, à surface égale, quatre fois le poids de combustible que l'on peut brûler sur une grille ordinaire. Comme exemple bien probant, on cite deux chaudières de bateaux de rivière, à peu près semblables, toutes deux tubulaires, dont les vaporisations étaient dans le rapport de 5 à 1, l'une ayant un échappement de vapeur dans la cheminée, tandis que le tirage de l'autre ne résultait que d'une cheminée ordinaire. C'est donc bien l'insufflation par la tuyère qui quintuple la vaporisation.

C'est aujourd'hui un résultat parfaitement certain de l'expérience générale, de celle surtout fournie par la pratique des chemins de fer, que des combustions considérables, rapides, que la production de grandes quantités de vapeur pour alimenter de puissantes ma-

chines à course de piston rapide, autrement dit l'établissement de chaudières et de machines produisant un grand travail sans être d'un poids énorme, condition fondamentale pour tout moyen de transport qui porte son moteur, n'est possible qu'à l'aide d'un tirage forcé.


3111.


3112.

C'est la solution du problème de la rapide vaporisation à l'aide de la chaudière tubulaire et du jet de vapeur, qui a fait le succès de la locomotive et des chemins de fer; ce sera la solution convenable du même problème qui permettra d'obtenir des bateaux à vapeur bien plus rapides que ceux construits jusqu'ici, dans lesquels on en est resté au tirage obtenu seulement à l'aide d'une cheminée peu élevée, faute d'avoir expérimenté les moyens simples qui peuvent être employés dans ce but. Nous croyons utile de les discuter ici en détail, parce qu'il s'agit là d'un progrès important dont l'adoption est sûrement proche.

Jet de vapeur. — Si on employait à la mer une pression élevée comme sur les locomotives de chemin de fer, on trouverait la solution du problème d'obtenir un tirage puissant en imitant les dispositions qui ont si bien réussi pour celles-ci, c'est-à-dire le jet de vapeur dans la cheminée. C'est en effet ce qui a été déjà fait avec succès, depuis plusieurs années, sur les bateaux de rivière les plus remarquables, sur ceux du Rhône notamment. Mais l'eau de mer donne tant d'incrustations dont l'adhérence augmente rapidement avec l'intensité du chauffage, le mouvement de la mer fait que si souvent des parties fortement chauffées de la surface des chaudières ne sont plus recouvertes d'eau, que l'emploi d'une pression de plusieurs atmosphères nécessaire pour l'insufflation par la vapeur, a été universellement repoussé. En effet, cette pression exige un actif chauffage à une température élevée, d'où résulte rapidement la chauffage au rouge de quelque partie des chaudières et un grand danger d'explosion. Nous ne saurions aller à l'encontre de la pratique universelle, au moins jusqu'à ce que la question des *incrustations* par l'eau de mer soit complétement résolue, et nous admettrons qu'on doit renoncer à l'emploi des très-hautes pressions à la mer malgré les avantages de la grande légèreté relative des machines qui les emploient.

La limite la plus élevée, et non encore admise en Angleterre, que l'on peut considérer comme sans danger, vu les progrès de la pratique pour combattre les inconvénients ci-dessus énoncés, pour les navires qui sont soumis à une surveillance incessante, pour les grandes machines toujours dirigées par des mécaniciens expérimentés, est la pression de 2 à 2 1/2 atmosphères. C'est cette pression, qui correspond à une température de 120 à 125 degrés seulement, qui est employée assez fréquemment sur mer par les Américains (sur le *Niagara*, magnifique frégate à vapeur notamment), qui a été adoptée par M. Dupuy de Lôme et les ingénieurs qui ont construit les grands navires à vapeur à hélice de la marine militaire, l'*Algésiras*, la *Bretagne*. Les inconvénients qu'elle peut encore entraîner sont inférieurs aux avantages de diminuer de moitié le poids des machines, les dimensions des cylindres, de permettre d'augmenter la vitesse du piston et par suite l'action directe de la tige du piston sur l'arbre de l'hélice, etc.

En restant au point de vue du tirage, la pression de 2 atmosphères est insuffisante pour produire une insufflation dans la cheminée. Il faudrait donc, pour utiliser ce moyen simple, avoir une petite chaudière à haute pression et pour cela pouvoir l'alimenter à l'eau distillée. Nous verrons plus loin qu'il n'est nullement impossible de condenser, par contact, une fraction de la vapeur sortant des cylindres sans surcharger les pistons et alourdir la marche de la machine.

On pourrait donc très-bien disposer un semblable système pour les bateaux à grande vitesse, et tirer un parti très-avantageux de la vapeur à produire un excellent tirage, à réchauffer auparavant la vapeur qui se détend, en faisant circuler cette vapeur chaude et se mouvant rapidement dans les enveloppes des cylindres, enfin en envoyant l'excédant de vaporisation dans les réservoirs de vapeur où celle-ci serait utilement emmagasinée avant de passer dans les cylindres.

Ventilateur. — A défaut de vapeur à haute pression, et préférablement même au jet de vapeur à mon avis, on peut employer, pour produire le tirage forcé, une machine bien connue, le ventilateur. On doit se rappeler que déjà au célèbre concours de Manchester, dont data la locomotive, la *Novelty*, construite par Bratwhaite et Ericson, lutta jusqu'au dernier moment avec le *Rocket* de Stephenson, qui avait su appliquer le tirage par un jet de vapeur, et que la combustion dans la première machine était activée par un ventilateur. Cette presque égalité indique bien la solution à adopter dans le cas où l'on ne dispose pas de vapeur à haute pression.

Si l'on examine les résultats fournis par le ventilateur dans quelques cas, on verra que ce moyen direct en quelque sorte d'imprimer à l'air, ou aux produits de la combustion, la vitesse nécessaire, est très-peu dispendieux et qu'il ne faudra le plus souvent brûler, pour le faire mouvoir, qu'une faible partie du combustible qu'économisera son emploi. M. Greuvelle a donné à l'article VENTILATION une excellente étude sur l'application du ventilateur aux mines. Il y rap-

porte, par exemple, une expérience de M. Guépin, du Grand Hornn, montrant que pour 60,000 mètres cubes d'air par heure, c'est-à-dire une combustion de 3,000 kilog. devant suffire pour 12 ou 1,500 chevaux, le mouvement du ventilateur ne coûterait pas 65 kilog. de charbon par heure, soit 1/100ᵉ du combustible brûlé, soit enfin 12 à 15 chevaux-vapeur.

On peut employer le ventilateur de deux manières, en avant du foyer, pour y lancer de l'air, c'est le ventilateur soufflant; en arrière du foyer pour enlever les produits de la combustion, c'est le ventilateur aspirant. C'est sous cette forme qu'il est utilisé et expérimenté dans les mines. Disons un mot de chacun de ces systèmes.

Le ventilateur soufflant, qui doit lancer l'air nécessaire à la combustion avec une vitesse assez grande pour que les produits de la combustion se meuvent convenablement à travers les circuits qu'ils doivent parcourir, offre le grand désavantage que le chargement du fourneau devient difficile. Essayé sur le *Great-Western*, cet emploi du ventilateur fut, dit-on, abandonné, à cause de la sortie de la fumée par la porte du fourneau quand on le chargeait.

Au lieu d'employer le ventilateur soufflant à activer la combustion, à lancer des quantités d'air considérables dans le fourneau de manière à éviter la production d'oxyde de carbone, il est bien préférable, en augmentant beaucoup l'épaisseur du combustible, de transformer tout le combustible en oxyde de carbone pour aller brûler celui-ci en longues flammes dans les chaudières sans production de fumée, de suie. C'est là l'appareil *Beaufumé* que nous décrivons à l'article CHAUFFAGE AU GAZ, heureuse application des beaux travaux d'Ebelmen, que ce savant ingénieur a si bien résumés à l'article COMBUSTIBLES. D'après les expériences de M. Grouvelle, cet appareil a fourni jusqu'à 10 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, quand en général on n'obtient que 5 à 6 kilogrammes et avec les chaudières les plus parfaites 7 ou 8.

Les expériences faites à la mer n'ont pas donné d'aussi beaux résultats, mais ont bien établi la supériorité de cet appareil sur les chaudières marines existantes. Toutefois la condition essentielle de son emploi est encore de disposer d'eau pure, l'eau de mer ne peut servir à garnir la boîte à feu, analogue à celle des locomotives, dans laquelle s'opère la combustion. Elle serait bientôt brûlée par suite des incrustations qui viendraient tapisser la surface intérieure.

Le ventilateur aspirant me paraît le véritable appareil convenable pour les navires à vapeur. Parfaitement convenable pour s'agencer avec l'ensemble du mécanisme, n'exigeant pas de changement notable aux chaudières dont le bon effet est connu par expérience et dont il augmentera seulement beaucoup la production de vapeur tout en soulageant singulièrement, par une plus grande vitesse de l'air, le pénible service des chauffeurs, il satisfait à toutes les conditions essentielles. Il me paraît devoir être adopté un jour généralement, et constituer un des grands progrès de la navigation à vapeur. Non-seulement il permettra de faire disparaître le cheminée et les flots de fumée qui salissent le pont des bateaux à vapeur, mais encore il augmentera leur valeur au point de vue nautique et mécanique. Son action se combine très-heureusement avec celle des vents, dont il faut toujours tenir compte à la mer, et des dispositions nouvelles que nous espérons bientôt expérimenter, pourront rendre son effet doublement utile.

Machine Pascal. — La nécessité d'obtenir une rapide vaporisation ne saurait être mieux démontrée que par les recherches faites pour obtenir un semblable résultat par ces voies détournées, par l'invention de systèmes, qui après bien des transformations, ne tirent leurs chances de succès que de ce qu'ils atteignent ce but plus ou moins complétement. Nous rangerons dans cette catégorie une curieuse machine fonctionnant par un mélange d'air chauffé et de vapeur, de l'invention de M. Pascal de Lyon, et qui heureusement modifiée par d'habiles ingénieurs, MM. Thomas et Laurens, va être employée pour mouvoir un navire à hélice.

Cette machine se compose de trois cylindres à vapeur faisant marcher trois pistons de machines soufflantes, placées en regard de chacun des cylindres à vapeur. Ces souffleries envoient de l'air dans trois cubilots fermés et y entretiennent une combustion active. De l'eau, chassée par les pompes alimentaires, arrive dans ces foyers par plusieurs orifices, au-dessus du combustible et en quantité convenable à chaque coup de piston. La vapeur formée immédiatement se mélange avec les produits de la combustion qu'elle refroidit en s'échauffant et passe dans les cylindres.

Plusieurs résultats remarquables paraissent résulter des premiers essais de cette curieuse machine.

1° Les cylindres ne reçoivent pas de cendres; la vapeur refroidissant la partie supérieure, le point de la combustion la plus active est inférieur à la surface et par suite les cendres fondent au-dessous et forment mâchefer qu'on retire à la partie inférieure.

2° Sans chaudières et par suite sans danger d'explosion, on peut produire rapidement des quantités considérables de vapeur en très-peu de temps, une grande surface de chauffe se trouvant, comme disent les inventeurs, dans les gaz de la combustion.

Nul doute que grâce à cette manière de produire de la vapeur par une soufflerie, en ne parvienne à engendrer un travail moteur considérable, avec une machine de dimensions et de poids très-modérés.

Si cette machine prouve ainsi bien clairement l'utilité d'une combustion activée par des moyens mécaniques, nous ne pouvons cependant croire à son succès. Les pompes d'air étant comme les cylindres à vapeur en communication avec les cubilots, la résistance est donc, à volume égal, la même que la puissance, et le travail utile ne répond qu'à la différence des volumes de l'air chaud mélangé de vapeur avec celui de l'air froid. En supposant le rapport de ces volumes de 5 à 2, ce que nous croyons peu éloigné de la réalité, on voit qu'en comprenant les résistances pressives des pompes d'air, la moitié du travail produit serait consommée par la soufflerie. L'emploi de l'appareil Beaufumé, ou du ventilateur aspirant que nous proposons, serait bien loin de coûter aussi cher, et il n'est pas besoin alors d'une pression de 2 ou 3 atmosphères (celle de la machine), pour donner à l'air le mouvement nécessaire afin que les produits de la combustion transmettant leur chaleur à la vapeur avec des surfaces de chauffe convenables. Les résultats économiques de cette ingénieuse machine ne nous paraissent pas pouvoir être avantageux.

Incrustations. — Nous ne traiterons pas ici la question des incrustations, à laquelle nous avons consacré un article spécial, des moyens à employer pour empêcher les incrustations de devenir adhérentes. D'heureuses inventions dans cette voie constitueraient un immense service rendu à la navigation à vapeur; nous ne parlerons ici que de ce qui se fait aujourd'hui sur tous les bateaux à vapeur.

L'eau de mer renferme environ $\frac{1}{33}$ de son poids de sels en dissolution, et elle est saturée, elle laisse déposer des cristaux lorsqu'elle en contient $\frac{12}{33}$. Ces sels consistent principalement en sel marin très-soluble, et en sulfate de chaux qui constitue la très-majeure partie des incrustations adhérentes aux chaudières. On voit par l'énorme proportion des matières salines, avec quelle effrayante rapidité se feraient les dépôts, si on n'avait trouvé un moyen d'empêcher l'eau de la chaudière d'atteindre jamais le point de saturation. Ce moyen consiste dans l'emploi d'une pompe

de *désaturation* ou pompe à *saumure*, agissant à l'inverse de la pompe alimentaire, enlevant de l'eau presque saturée du fond de la chaudière, pour la rejeter au dehors, en quantité égale à *la moitié* de celle envoyée par la pompe alimentaire. En enlevant ainsi une quantité aussi considérable d'eau bien plus chargée de sels que celle qui arrive dans la chaudière, et surtout en la puisant à la partie inférieure où se déposent les boues, où s'agitent les molécules qui n'adhèrent pas encore à la chaudière, on amoindrit beaucoup les dépôts du sulfate de chaux sur les surfaces directes de chauffage, et ils n'arrivent pas jusqu'aux surfaces indirectes, placées plus haut, surfaces qui avec un fort tirage, agissent très-puissamment pour maintenir la régularité de la vaporisation, surtout lorsqu'un commencement d'incrustation n'a pas permis aux surfaces directes de refroidir déjà les produits de la combustion.

En rejetant au dehors une aussi grande quantité d'eau très-chaude, la perte de chaleur qui en résulterait serait très-sensible, si on ne pouvait en reprendre une partie pour échauffer l'eau d'alimentation. A cet effet on fait écouler l'eau de la chaudière à travers des tubes qu'entoure l'eau d'alimentation qui s'avance en sens contraire. Les incrustations viennent souvent contrarier ces effets, en détruisant la conductibilité des parois métalliques, aussi importe-t-il, dans la pratique, de faire très-grandes les sections des conduits et de tout disposer pour un facile nettoyage.

Condensation de la vapeur. — Après avoir traité de la production de la vapeur, je traiterai de la condensation de la vapeur au point de vue spécial de l'eau de mer.

On a vu plus haut que la limite de l'emploi de la haute pression comme de bien des progrès dans la grande navigation, la principale cause de l'infériorité du steamer comparé au bateau à vapeur de rivière, qui réalise des vitesses de 30 à 40 kilomètres à l'heure, tandis que l'on n'atteint presque jamais 20 kilomètres sur mer, résidait dans l'impureté de l'eau de mer. Le remède serait donc de parvenir à condenser la vapeur d'eau pure qui sort des chaudières, et c'est ce qui a été tenté à l'aide des condenseurs de Hall, imités du serpentin des alambics, consistant en des tubes dans lesquels la vapeur d'eau n'est en contact qu'avec des surfaces métalliques refroidies par le contact avec l'eau froide placée à l'extérieur. Si ce système avait réussi convenablement, l'alimentation pouvant se faire avec de l'eau distillée, c'est-à-dire parfaitement pure, il n'y eût plus eu à s'occuper des incrustations, des difficultés qui résultent des sels dissous dans l'eau de mer.

Après de nombreux essais il a fallû malheureusement renoncer à ce système; la frégate à vapeur de la marine anglaise la *Medea*, munie d'un tube condenseur de 35 kilomètres de développement, replié circulairement dans des caisses qui recevaient l'eau de mer froide, après avoir donné d'abord des résultats assez satisfaisants, démontra l'impossibilité de continuer l'emploi de cette disposition. C'est que, dès que l'eau de mer s'échauffe, elle laisse déposer des matières terreuses qu'elle tient en suspension en partie par l'action de l'acide carbonique qui se dégage par la moindre chaleur, et la surface, ternie et recouverte de matières terreuses, ne donne bientôt plus un passage assez rapide à la chaleur pour que la condensation s'opère avec la rapidité suffisante pour le bon fonctionnement de la machine à vapeur.

Y a-t-il lieu de juger comme tout à fait inacceptable un système qui offre d'ailleurs tant d'avantages? Ne peut-on en tirer parti au moins partiellement? C'est ce qu'il nous paraît intéressant à examiner.

Un laborieux inventeur, M. Sauvage, a construit une petite machine à l'aide de laquelle il a poursuivi l'essai du condenseur à surfaces métalliques, et a obtenu quelques résultats dignes d'intérêt. Il a eu le soin de recevoir la vapeur à condenser dans un tuyau renfermé dans un autre plus grand, et de faire circuler l'eau entre les deux, conformément aux principes de la méthode de déplacement, c'est-à-dire la vapeur et l'eau en sens contraire, de manière que l'eau tout à fait froide rencontrât la vapeur déjà partiellement condensée. En opérant avec de l'eau de source, assez pure, il est vrai, il est parvenu à se servir d'une manière continue de ce condenseur en n'employant qu'une surface de 0m,50 par force de cheval; il pensait que le mouvement assez rapide de l'eau suffisait pour nettoyer les surfaces métalliques.

En effet, les dépôts produits dans de semblables conditions ne ressemblent nullement aux incrustations des chaudières, devenues adhérentes par l'effet de la haute température du foyer, et l'on peut poser en principe que le nettoyage serait facile si la forme des tuyaux s'y prêtait, en admettant que la prompte circulation de l'eau ne suffise pas pour enlever les dépôts d'eau de mer.

Reste la difficulté que, malgré l'étendue des surfaces, l'effet même minime des dépôts de la graisse qui s'échappe avec la vapeur, et qui l'empêche de bien mouiller le métal, mais surtout la conductibilité limitée du métal, rendent toujours la condensation bien moins rapide qu'avec le condenseur à eau; d'où des résistances nuisibles sur l'une des faces du piston et l'impossibilité de donner à celui-ci la rapidité de marche, condition essentielle pour la production d'un travail considérable. Les deux remèdes à apporter à cet inconvénient sont de conserver au moins comme accessoire le condenseur à eau, l'autre d'agrandir la capacité dans lequel la vapeur se précipite. Je vais rendre ceci sensible par la description sommaire de systèmes applicables dans deux cas différents, où il ne s'agira toujours de condenser par surfaces métalliques que partie de la vapeur, ce qui n'est pas la solution intégrale du problème en ce qu'on ne peut faire marcher tout le système avec de l'eau pure, mais une solution partielle donnant presque tous les avantages de la solution complète, en permettant d'avoir au moins une des six ou huit chaudières d'un grand steamer, à haute pression.

Soit d'abord à obtenir une petite quantité d'eau condensée. Recourbons le tube qui envoie la vapeur du cylindre de la machine au condenseur à eau, et donnons-lui, par exemple, un développement de 25 mètres. Enveloppons-le d'un tuyau dans lequel on fait circuler l'eau froide en sens inverse de la vapeur par l'action d'une pompe aspirante; cette disposition, sans altérer en rien l'action du condenseur à eau, y adjoindra l'effet d'un condenseur à surface dont il sera facile d'extraire l'eau par une capacité fermée par un robinet à l'entrée et un autre à la sortie. En admettant l'efficacité du système Sauvage pour éviter l'adhérence des dépôts terreux, on pourrait ainsi obtenir de l'eau condensée en proportion du développement donné au tuyau de vapeur et à la quantité d'eau employée à refroidir les surfaces métalliques. Jusqu'à de nouvelles expériences on ne saurait considérer ce système que comme un moyen de produire de petites quantités d'eau pure, sans qu'on puisse baser sur lui une modification essentielle du mécanisme.

Supposons maintenant qu'il s'agisse d'obtenir une quantité d'eau très-considérable et que le système Sauvage ne soit pas admissible, qu'un nettoyage direct des surfaces condensantes soit nécessaire (et il est bien probable qu'il est impossible de l'éviter au moins à intervalles un peu éloignés), la rapidité avec laquelle la vapeur se précipiterait dans le condenseur à eau, dans la disposition ci-dessus, et traverserait le condenseur à surface, rendrait l'action de celui-ci presque insignifiante. Pour qu'il en fût autrement, et pour que le condenseur à surface n'alourdît pas la machine, il fau-

drait augmenter les surfaces refroidissantes et surtout (et c'est là le principe nouveau, non appliqué encore, très-essentiel pour le succès) rendre très-grand le volume du vide relatif dans lequel vient se précipiter la vapeur. Je rendrai bien compte de ce système en rapportant ici la description d'un appareil de ce genre que je proposais dans ma brochure sur les bateaux transatlantiques publiée en 1857. Le condenseur dont il va être question était destiné à permettre de trouver l'eau pure nécessaire pour alimenter une machine à haute pression, de la force d'une double locomotive, à l'aide de la partie condensée de la vapeur alimentant un puissant mécanisme à vapeur composé de trois couples de cylindres à vapeur, utilisant 46,000 kilog. de vapeur par heure, cylindres portés sur des bâtis triangulaires parallèles.

L'intérieur des bâtis triangulaires, disais-je, qui supportent chaque paire de cylindres à vapeur (système décrit plus loin, voir la fig. 3416) serait rempli, pour la plus grande partie, par une grande caisse carrée en forte tôle rivée, divisée en trois compartiments pouvant avoir les dimensions suivantes : longueur 7 mètres, largeur moyenne 3 mètres, hauteur 3 mètres, soit en volume 60 à 70 mètres cubes, et, pour les trois, 200 mètres cubes. Si l'on suppose cette caisse garnie de tubes placés verticalement, plus rapprochés et moins épais que ceux d'une chaudière de locomotive, on voit, par le rapport des dimensions respectives et la grande étendue des surfaces indirectes de chauffe, que si l'on obtient ainsi, dans les locomotives, des surfaces de 400 mètres carrés pour 20 ou 25 mètres cubes de capacité, il sera possible d'obtenir des surfaces de tubes, pour chaque condenseur, de 2 à 300 mètres carrés, soit 7 à 800 pour le tout. Cette surface extérieure étant en contact avec la vapeur est la surface de refroidissement et fonctionne toujours efficacement, l'intérieur des tubes qui reçoit l'eau étant facile à nettoyer, à débarrasser des faibles dépôts peu adhérents qui peuvent s'y former, qui n'enlèvent pas le mouvement ascensionnal de l'eau qui s'échauffe.

En effet, l'eau reçue dans l'intérieur des tubes et du double fond qui entoure la caisse (le diamètre des tubes étant assez petit pour que la poids de l'eau condensante ne soit pas trop considérable) entre vers le bas du système dans une capacité dont la partie supérieure reçoit les extrémités de tous les tubes et parvient à travers ceux-ci, vers le haut, dans une capacité qui communique avec une pompe aspirante, une pompe à eau et à air, qui enlève l'eau échauffée et la rejette au dehors.

La vapeur traversant cette capacité s'y condense en partie, puis vient aboutir à un condenseur ordinaire de faible dimension, qui assure la condensation complète de la vapeur et le maintien constant d'un vide convenable dans la capacité qui la reçoit.

Le nettoyage des tubes verticaux qui traversent le condenseur métallique se fera avec une grande facilité, à peu près comme on le fait fréquemment pour les tubes de locomotives, en employant un racloir et un écouvillon, après avoir démonté le couvercle supérieur. Cette opération, qui ne sera à faire que de loin en loin, et seulement dans le port d'arrivée, n'offrira pas de difficulté et suffira pour assurer l'excellent fonctionnement de l'appareil. Le démontage de parties qui doivent ne pas laisser fuir l'eau ne saurait effrayer, car il s'agit d'eau à 40 ou 50 degrés au milieu de laquelle se conserve très-bien le caoutchouc vulcanisé, dont l'emploi rend facile l'exécution de fermetures hermétiques.

Le vide ou la pression minime du condenseur métallique est assuré par la continuité de l'action du refroidissement des surfaces, lors même que le tiroir est fermé, et surtout par la grandeur de la capacité avec laquelle la cylindrée de vapeur est mise en communication, et qui étant au moins vingt-cinq fois plus grande qu'elle, assure contre toute contre-pression, toute lourdeur du piston.

Dans les dimensions indiquées ci-dessus, la condensation par contact avec des mouvements convenables de l'eau refroidissante et de la vapeur à condenser dépasserait 5,000 à 6,000 kilog. par heure. Les seuls renseignements que l'on possède pour cette détermination sont, d'une part, le résultat de la disposition de M. Sauvage, qui, dans des expériences, a condensé la vapeur à raison d'une surface de $0^m,50$ par cheval (ce qui nous donnerait 46,000 kil.), et la prescription de Hall d'employer $1^m,68$ de surface refroidissante par cheval-vapeur, c'est-à-dire par 5 à 6 kilog. de vapeur. Mais il cherchait à faire la part des incrustations; le résultat serait sûrement bien supérieur avec des tubes bien nettoyés et en augmentant l'étendue des surfaces refroidissantes par l'emploi de toiles métalliques ; Ericson a montré l'effet en quelque sorte instantané de semblables surfaces froides auxquelles on peut donner un grand développement pour absorber la chaleur d'un gaz. Ces toiles ou fils métalliques formant grillage autour des tubes froids produiraient non-seulement cet effet, mais encore permettraient, en formant écran, de diriger la marche de la vapeur pour la forcer de circuler en léchant les tubes, pour lui faire parcourir un chemin suffisamment long au lieu de se précipiter vers le condenseur à eau placé vers la partie supérieure des caisses.

La grande quantité d'eau qui peut être ainsi condensée dans de puissantes machines étant certainement plus que suffisante pour alimenter une machine à haute pression très-importante, nous verrons quelle ressource cela offrirait pour la construction des transatlantiques à marche rapide, pour assurer la victoire dans une lutte de vitesse, dans laquelle doivent se manifester la puissance scientifique, les ressources de toute nature des plus riches nations maritimes du monde.

Réservoirs de vapeur. — Je compléterai cette revue de tout ce qui se rapporte à la vapeur, en rappelant la nécessité d'organiser des réservoirs, des magasins de vapeur de grande capacité. En général, les chaudières sont disposées pour cela; leur partie supérieure renferme un grand volume de vapeur, et celle-ci s'y sécha, s'y surchauffe même souvent par l'action des parois chauffées plus ou moins par les produits de la combustion. Toutefois il y a toujours avantage à y joindre de grands réservoirs séparés, formant régulateurs de pression, qui assurent la bonne marche de la machine, empêchent la pression de varier par l'effet du changement de l'activité de la combustion dans l'un des foyers. Plusieurs bateaux de rivière ont dû, à l'emploi de semblables réservoirs, la supériorité de leur marche, et les mêmes avantages seront obtenus pour les bateaux à vapeur marins à grande vitesse, dans ceux surtout dont les appareils de vaporisation sont quelque peu insuffisants, dans lesquels il faut toujours forcer le feu, de telle sorte que les variations de combustion se font immédiatement sentir à la machine.

On exécute en général ces réservoirs avec de longs et gros cylindres de fonte qu'on préserve du refroidissement à l'aide d'une enveloppe de corps non conducteurs, de douves de bois par exemple.

De la machine à vapeur.

Après des essais multipliés à l'infini pour varier les systèmes de machines propres à la navigation, deux types principaux, deux simplifications de la machine à vapeur ont été jugés préférables à tous autres, et sont presque seuls exécutés aujourd'hui, à savoir : les machines à cylindre oscillant et les machines à action di-

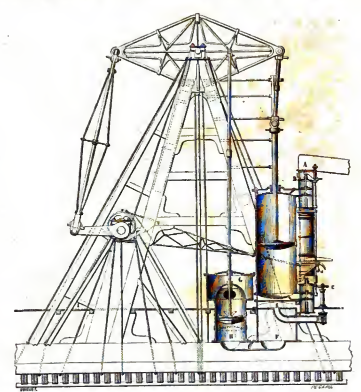
recte, dont les premières ne forment qu'un cas particulier.

On a été amené à étudier ces dispositions par le poids énorme des anciennes machines que nous avons déjà décrites dans notre premier article. Elles étaient construites sur les mêmes principes que celles que Watt avait établies pour machines fixes, avec cette seule différence que le balancier avait été reporté à la partie inférieure du bâti, et le volant rendu inutile par l'accouplement de deux machines. L'emploi de lourds bâtis en fonte de fer, du balancier d'un poids notable rendent ces machines très-lourdes, et leur poids contribue beaucoup à abaisser la limite de la puissance possible pour un bateau d'un tonnage donné.

Ce genre de machines, grâce à la symétrie des pièces, présentait de grands avantages de solidité, qui avaient fait penser à plusieurs savants ingénieurs, à M. Hubert de Rochefort notamment, un des plus habiles qu'ait possédés la marine française, que jamais ce système ne serait avantageusement remplacé; mais l'inconvénient majeur dont nous venons de parler fait que la pratique l'a définitivement abandonné.

Il faut remarquer que le poids de la machine, du bâti principalement, croissant rapidement avec la longueur du balancier, on ne saurait employer facilement ce système pour construire de bonnes machines, c'est-à-dire des machines utilisant de longues détentes, et par suite ayant de longues courses de piston. Les Américains ont cependant employé ces machines dans ces conditions de perfection pour la navigation de leurs grands fleuves, et sont arrivés à de très-beaux résultats en employant de très-grandes courses de piston, mais alors, pour éviter de longs balanciers en augmentant les courses des pistons, ils emploient de très-longues bielles, pouvant prendre sans inconvénient des inclinaisons considérables, ce qui les a ramenés à la machine terrestre, c'est-à-dire qu'ils ont replacé le balancier, qu'ils ont pu faire court, à la partie supérieure de la machine à une grande hauteur. Nous donnons ci-dessus (fig. 3413) un dessin de ces machines, aussi curieuses par la simplicité de leur construction que par leur puissance. Celle représentée par cette figure appartient au *North-America*. Le cylindre a 43 pouces anglais, la course est de 11 pieds, les roues ont 27 pieds de diamètre; la pression de la vapeur est de 50 livres ou pouce carré.

Un audacieux entrepreneur de transports, M. Vanderbilt, voulant utiliser ces progrès, a construit un ma-



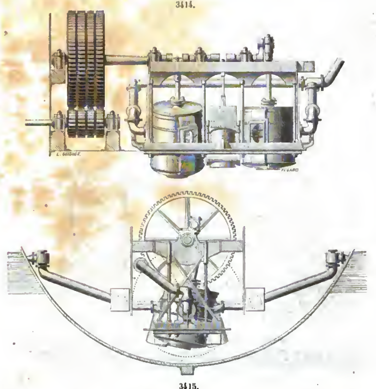
3413.

gnifique navire qui porte son nom pour faire les traversées entre New-York et le Havre, et a obtenu une vitesse égale à celle des meilleurs bateaux, avec une sensible économie de combustible, grâce à l'emploi d'une détente à moitié et de longues courses de piston. La machine de ce steamer, dont le tonnage est de près de 4,000 tonneaux, est double; ses cylindres ont 2m,25 de diamètre et 3m,64 de course. Les inconvénients attachés à l'emploi d'un balancier situé à une grande hauteur au-dessus du pont sont trop évidents pour qu'on puisse recommander un pareil système; la hauteur à laquelle est suspendue, au-dessus de l'arbre des roues, la bielle, le balancier, à laquelle s'élèvent le piston

Ses avantages résident surtout dans une très-grande légèreté, une grande simplicité de mécanisme. La détente assez mal appliquée dans les premières machines, l'a été beaucoup mieux depuis que Penn est parvenu à les munir d'un appareil de distribution semblable à celui des machines fixes.

Les figures 3414 et 3415 représentent, une de côté et de face, cette machine telle que, dans sa plus grande perfection, elle est employée par Penn, pour appliquer la machine oscillante à mouvoir une helice propulsive, c'est-à-dire les cylindres placés à la suite les uns des autres dans l'axe du bateau, tandis qu'ils sont placés transversalement pour faire tourner les roues. On y remar-

3414.



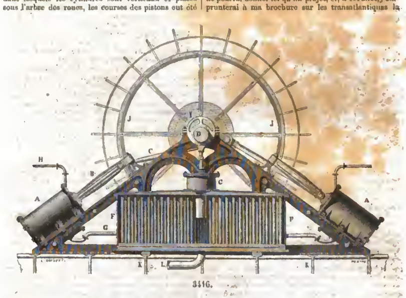
3415.

et sa tige, la masse qui supporte l'axe du balancier, sont très-contraires à la stabilité du navire, et par les gros temps ce bateau roule d'une manière inquiétante. Ce système n'est évidemment pas convenable pour la navigation maritime, n'est pas fait pour les agitations de la mer.

La machine à cylindre oscillant après avoir fait ses preuves pour des forces modérées, surtout dans la navigation de rivière, et entre les mains de notre habile constructeur M. Cavé, a été appliquée à des navires de premier ordre par les excellents constructeurs anglais Penn et fils de Greenwich.

quera l'heureuse disposition, due à ce constructeur, du condenseur incliné placé entre les deux cylindres à vapeur. La nécessité de faire circuler la vapeur par les tourillons qui supportent les cylindres, jointe à celle de mettre en mouvement, à l'aide du piston et de sa tige, des poids qui deviennent énormes pour des machines de 4 à 500 chevaux, l'usure rapide des guides du piston qui en résulte, surtout si l'on veut rendre la vitesse du piston un peu grande, ne permet pas de considérer le système de machine oscillante comme celui qui doit être recommandé pour les très-grandes constructions maritimes.

Aucun inconvénient de ce genre ne se rencontre dans la machine à action directe, c'est-à-dire, dont la bielle assemblée d'une extrémité à la tige du piston agit par l'autre extrémité sur la manivelle de l'arbre moteur. Toutes les conditions propres à assurer la meilleure utilisation de la vapeur peuvent être remplies dans ce genre de machines, à la condition que l'on ait assez de place pour donner à la bielle une longueur égale à 4 ou 5 fois le rayon de la manivelle. Si on reste au-dessous de cette limite, les pressions qui s'exercent sur les guides de la tige du piston deviennent très-considérables, et dans de grandes machines entraînent des consommations de travail, des chances de détérioration très-grandes. Aussi, dans le plus grand nombre des puissantes machines de ce genre (et ce n'est que pour de grands navires ayant un creux considérable qu'on a pu adopter le mode de construction dont nous allons parler), pour les derniers transatlantiques, par exemple, dans lesquels les cylindres sont verticaux et placés sous l'arbre des roues, les courses des pistons ont été



3416.

extrêmement réduites, tout en exagérant le diamètre des roues, pour placer l'arbre plus haut, ce qui fait que leur vitesse est trop grande ou celle du piston trop petite. Inutile d'insister pour démontrer que de pareilles dispositions ne peuvent, même avec de très-grands navires, que donner des machines défectueuses au point de vue de l'économie du travail.

Pour remédier à ces défauts, Maudslay, le célèbre constructeur anglais, a tenté deux élégantes solutions. La première consiste à employer deux cylindres accouplés, les deux têtes des tiges des pistons sont assemblées à une traverse horizontale, à laquelle est réunie la tête de la bielle par l'intermédiaire d'une barre verticale, descendant dans l'intervalle resté libre entre les deux cylindres. Cette disposition, qui éloigne autant que possible la tête de la bielle de l'axe des roues, permet par suite de lui donner une grande longueur.

L'impossibilité de faire marcher constamment les deux pistons dans des conditions identiques, explique les résistances intérieures nuisibles qui ont empêché le succès de ce système.

La seconde est la machine à fourreau. La tête de la bielle est attachée au piston, et elle oscille dans un cylindre elliptique qui fait partie de ce dernier. Ce fourreau glisse dans un stuffing-box de grande dimension, d'où résistance nuisible, refroidissement des surfaces qui viennent à l'air avant d'être en contact avec la vapeur. Ces solutions sont insuffisantes. Voyons celle qui semble devoir être préférable.

Nous allons passer en revue deux types de machines, l'un pour les bateaux à roues, l'autre pour les navires à hélice. Les nouvelles constructions de la marine militaire me fourniront un type du second cas, établi de manière à satisfaire aux conditions de perfection du travail; pour les bateaux à roues, je ne connais pas de grandes constructions qui soient établies de manière à éviter les imperfections dont j'ai parlé ci-dessus. Je ne pourrai donner ici qu'un projet, et, à cet effet, j'emprunterai à ma brochure sur les transatlantiques la description d'une machine de ce genre, dans la combinaison de laquelle j'ai cherché à réaliser toutes les conditions de maximum qu'indique la théorie.

Machine à action directe pour grand bateau à vapeur à roues. — Les conditions principales auxquelles on doit satisfaire sont : pour la légèreté de la machine, avec une pression élevée, question déjà traitée, une vitesse assez grande du piston, et pour la bonne utilisation de la chaleur, l'emploi de longues détentes et de longues courses de piston. Or, ces dernières conditions ne sauraient être réalisées par les machines actuelles à action directe, dont les cylindres sont placés au-dessous de l'arbre des roues, de telle sorte que ne pouvant les employer que pour les très-grands navires dont le creux est considérable (la machine oscillante est pour de petits navires la seule machine à action directe qui soit possible) la course est toujours limitée par la distance qui sépare l'arbre des roues de la plaque de fondation qui supporte la machine, et elles ont toutes le défaut capi-

tal d'avoir des bielles trop courtes et des courses de piston de peu d'étendue.

Pour corriger ces défauts, il faudrait se rapprocher de la disposition adoptée avec succès par les ingénieurs du Creuzot, qui, dans les excellentes machines qu'ils ont construites pour la navigation du Rhône, ont disposé les cylindres à vapeur horizontalement, de manière à donner aux bielles toute la longueur nécessaire et en trouvant l'avantage de reporter sur une grande surface le poids des machines, ce qui évite la déformation des coques. Dans l'impossibilité de l'adopter tout à fait, car elle ne satisfait pas à la condition essentielle des machines marines de servir de lest, d'assurer la stabilité du bâtiment, en reportant les poids à la partie inférieure de la coque, nous choisirons la position intermédiaire, et nous placerons le cylindre à vapeur sur un bâti suffisamment incliné, ce qui permet d'allonger en même temps la bielle et la course du piston, tout en laissant le mécanisme au-dessous de l'arbre des roues, la majeure partie du poids étant vers le bas du bâti, sur la plaque de fondation.

Nous pourrons avec avantage remplacer par deux cylindres, placés symétriquement à la base d'un bâti triangulaire, et dont les bielles agiraient simultanément sur un même point de l'arbre des roues, chacun des énormes cylindres adoptés en général dans la navigation à vapeur, multiplication des cylindres que nous rencontrerons plus loin dans les machines à hélice, cas pour lequel elle a été reconnue être très-avantageuse, comme l'indiquait déjà la théorie des enveloppes trop généralement négligées dans les constructions marines, qui ont peu d'effet quand les diamètres sont trop grands. Le bâti triangulaire auquel nous sommes ainsi ramenés avait déjà été proposé jadis par M. Brunel père, mais dans l'application qu'il s'agissait alors de faire à de petites machines, cette disposition dut céder, dans ce cas, devant celle des machines oscillantes plus simples et moins coûteuses (fig. 3416).

Nul besoin d'insister pour montrer qu'en remplaçant la distance de l'arbre des roues à la plaque de fondation, par l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont un côté est cette distance, et l'autre une longueur arbitraire, on pourra allonger à volonté la course des pistons, et cela en conservant les proportions normales relatives des bielles et des manivelles. Quant à la réduction des diamètres des cylindres, on pourra composer l'appareil moteur de deux ou même de trois couples semblables pour les bateaux à grande vitesse. En disposant convenablement le calage des manivelles, en raison de la variation des pressions dans les cylindres, par suite de la longueur de la détente, on pourra éviter toutes les secousses, toutes les vibrations, si désagréables sur la plupart des bateaux à vapeur. On y serait aidé au besoin par l'adaptation de contre-poids aux roues, comme sur les chemins de fer, pour balancer les actions perturbatrices qui deviennent sensibles quand on augmente beaucoup les vitesses des pièces à mouvement alternatif.

A l'aide de ces dispositions et en employant la pression de 2 atmosphères 1/2, il est facile de donner, pour les navires de premier ordre, une course de 2 mètres, une vitesse de $1^m,50$ à $1^m,60$ par seconde, et une détente de deux fois au moins le volume primitif, qui correspond à un travail double de celui obtenu avec la seule pression pleine. Nous parlons de navires qui ont au moins 5 ou 6 mètres entre l'axe des roues et la plaque de fondation, avec une largeur suffisante de celle-ci, pour placer le nombre voulu de cylindres. En donnant 6 mètres de largeur à la base du triangle rectangle du demi-bâti, on aura une hypoténuse de 8 à 9 mètres, bien suffisante pour que le cylindre à vapeur étant placé à la partie inférieure, la bielle ait une longueur de $4^m,5$ à 5 mètres, quatre ou cinq fois au moins le rayon de la manivelle, dont le rayon serait de 1 mètre.

Machines à action directe pour navires à hélice. — Les premières machines adoptées lorsqu'on commença à appliquer l'hélice à la navigation maritime furent les mêmes que celles qui servaient pour les navires à roues. Ainsi en disposant les deux cylindres d'une double machine oscillante dans l'axe des navires (on cite d'excellentes constructions de Penn conformes à cette description), ils feront tourner un arbre parallèle à cet axe. C'est cette disposition souvent appliquée avec succès en Angleterre que représentent les figures 3414 et 3415 données plus haut. En munissant cet arbre d'une forte roue d'engrenage, qui commande un pignon monté sur l'arbre parallèle au premier qui porte l'hélice, on fera mouvoir celle ci avec la rapidité nécessaire au bon fonctionnement de ce propulseur.

Il n'était pas besoin d'une longue expérience pour reconnaître les inconvénients inhérents à une semblable disposition. Le frottement des engrenages, leur poids énorme, l'annulation de la machine dès qu'une dent des engrenages était cassée, le manque d'élasticité d'un appareil exposé aux coups de mer, dans lequel, depuis le moteur jusqu'au propulseur, tout n'est pas lié par des articulations qui donnent à l'appareil une suffisante élasticité, etc., toutes ces causes devaient faire penser à des machines à action directe, analogues à celles dont la locomotive offre le type.

C'est ce que fit heureusement, pour répondre à la demande de M. Labrouste qui, le premier, fit connaître à la France les avantages de l'hélice, M. Cavé, en utilisant dans la construction du *Chaptal* sa double expérience de constructeur de machines de navigation et de locomotives. Les résultats furent assez satisfaisants pour montrer qu'il avait trouvé la véritable voie.

Toutefois dans la construction des machines du *Napoléon*, les ingénieurs de la marine conservèrent les engrenages, n'admettant pas la possibilité d'employer sur mer des machines autres que celles à basse pression. Malgré le magnifique succès de ce navire, le poids énorme de son appareil moteur montant à 1,000 kilog. par cheval, comme celui des anciennes machines à balancier, sa grande consommation de charbon, indiquaient bien la nécessité de chercher le vrai type de ces machines dans celles à action directe.

C'est en effet à cette solution que se sont arrêtés les ingénieurs de la marine dans toutes les nouvelles constructions, qui leur ont fourni d'excellentes utilisations avec un poids de machines bien moindre que celui des machines à balancier.

Nous donnons ci-contre la figure (3417) d'une des machines, qui peut être considérée comme le premier modèle adopté par les ingénieurs de l'État. On voit que dans ce système la course du piston est petite et qu'une seconde tige adaptée au piston moteur fait marcher la pompe à air. Cette dernière disposition n'est pas toujours adoptée, mais celles qui la remplacent sont équivalentes. Quant à l'allure de ces machines, les ingénieurs ont satisfait aux conditions que nous avons indiquées plus haut comme indispensables à la bonne utilisation de la vapeur, savoir : mouvements rapides du piston et emploi de longues détentes, en augmentant le rayon du piston, ce qui accroît les espaces nuisibles et ne convient pas pour l'emploi avantageux des enveloppes de vapeur ; enfin multiplication des cylindres à vapeur ; ils sont au nombre de quatre dans les grands navires.

M. Mazeline, le constructeur du Havre, a montré que les attaches des pistons devaient être espacées, en raison de la détente employée de manière à égaliser l'impulsion moyenne. Il a ainsi détruit toutes espèces de vibrations qui étaient très-désagréables sur tous les navires à hélice construits antérieurement.

On a trouvé avantageux, dans les constructions les plus récentes, pour pouvoir obtenir de plus grandes courses de piston qui, comme je viens de le dire, sont

insuffisantes dans le modèle représenté dans la figure, d'aller eberber, de l'autre côté de l'arbre de l'hélice, les guides des têtes des pistons, guidés par plusieurs tiges pour le passage de l'arbre de l'hélice, auxquelles s'assemblent les extrémités des bielles. C'est là un progrès important qui e constitué un très-bon modèle dans les conditions générales admises aujourd'hui.

Organes de propulsion.

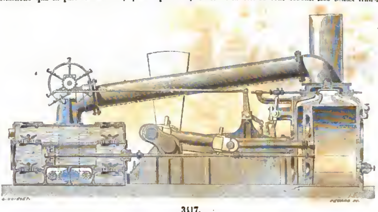
Deux moyens de propulsion sont appliqués aujourd'hui dans la navigation à la vapeur, les roues à pales et les hélices.

Roues à pales. — Le mode d'action des roues à pales est bien connu. En tournant par l'action de la machine à vapeur, elles viennent choquer l'eau, qui à cause de son inertie ne pouvant s'écarter instantanément, résiste, et l'axe des roues assemblé avec le bateau est sollicité à s'avancer comme l'essieu d'une locomotive.

C'est dans l'étude des phénomènes qui accompagnent le mouvement d'une surface en mouvement, s'introduisant et se mouvant dans un fluide, dans les mêmes conditions que la pale de la roue, que se peuvent ner à la mer, comme nous l'avons vu en décrivant les difficultés qu'entraîne la haute pression.

Les roues, qui conviennent bien pour les bateaux de dimensions modérées, offrent des inconvénients lorsqu'il s'agit de puissants navires. La surface des pales devient alors tellement grande, que l'eau qui cédait et s'écartait facilement devant les pales, tant qu'elles n'avaient que des dimensions restreintes, après qu'elles ont agi sur l'eau utilement, ne pouvant plus s'écouler assez vite, est inutilement projetée en l'air. Cet effet, qui se produit surtout par la partie centrale des pales, va en croissant rapidement.

C'est parce que le travail moteur est d'autant plus mal utilisé que les pales sont plus grandes et que la vitesse des roues dépasse une certaine limite, que le difficulté d'accroître la vitesse des grands steamers à roues est si grande. Nous avons déjà donné, d'après M. Campaignac, la proportion énorme dans laquelle il faut faire croître le travail moteur pour augmenter quelque peu la vitesse. Malgré cela, toutefois, l'expérience de tous les bateaux à grande vitesse les plus renommés est à l'avantage des roues; elles seules permettent de conserver de la vitesse vent debout. Les beaux transat-



3117.

lantiques anglais et américains sont tous à roues, et aucun bateau à hélice n'a pu entrer en concurrence avec eux sous le rapport de la vitesse.

trouver les lois de l'action mécanique de cet organe.

Quant aux inclinaisons diverses de la pale, nous avons vu comment on avait cherché à obvier à l'obliquité des pales, à leur entrée et à leur sortie de l'eau, par un double mouvement. Malgré ce que ces systèmes ont d'ingénieux, ils n'ont pas prévalu; les avantages trouvés n'ont pas été aussi grands pour compenser une plus grande complication de la partie du mécanisme qui fatigue le plus.

La vitesse absolue V des pales, v étant celle du bateau, doit être telle que la différence $V-v=W$ soit la plus convenable pour une bonne utilisation du travail moteur, relativement aux mouvements de la mer. L'expérience prouve que la vitesse des roues doit être environ de 1,50 de celle du bateau; on la rend un peu plus grande pour les bateaux à grande vitesse, où la question d'économie absolue n'est que secondaire, mais on ne peut s'écarter beaucoup de cette moyenne sans détruire une quantité de travail considérable par le choc de l'eau. Dans ces conditions les roues à pales transmettent une impulsion qui n'entraîne pas de trop grandes destructions de travail et permettent un bon fonctionnement des machines à petite vitesse de piston et à basse pression, les plus simples à faire fonction-

Hélice. — L'emploi de l'hélice dans la navigation est un des grands progrès accomplis à notre époque. Nous reviendrons plus loin sur les grands avantages qu'offre ce propulseur de se combiner avec l'emploi des voiles pour l'économie de la navigation, et de rendre à la marine militaire des batteries puissantes, avantages qui manquent aux navires à roues par suite de la présence des roues et de leurs grands et volumineux tambours placés au milieu des flancs. Nous ne discuterons pas ici les formes de l'HÉLICE, consacrant un article spécial à cette intéressante question.

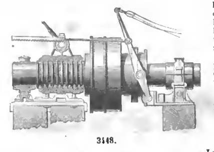
La supériorité de l'hélice sur les roues, en tant qu'utilisation du travail moteur, résulte de ce qu'étant toujours immergée, son action ne diminue pas à la mer par les plus gros temps, circonstance dans laquelle les roues donnent peu de travail utile, l'une d'elles étant souvent noyée, tandis que l'autre tourne dans l'air.

Son infériorité consiste en ce qu'elle est impropre à faire marcher le bateau quand le vent est directement contraire à la marche, et c'est là la vraie cause de la moindre vitesse des longues traversées des bateaux à

hélices comparés aux bateaux à roues. La résistance du navire croissant par cette action du vent debout, l'action de l'hélice pour faire tourner circulairement l'eau qui ne se renouvelle pas, plutôt que de la repousser, va en augmentant; elle forme frein hydraulique, et le travail utile diminue très-rapidement avec l'accroissement de la résistance.

Nous remarquerons aussi qu'un grand enfoncement de l'hélice est favorable à son bon effet, ou plutôt, que l'on peut dans ce cas, pour de forts tirants d'eau, employer les formes les plus convenables qui exigent un grand diamètre.

Une des grandes difficultés qu'a présentées l'emploi de l'hélice a été de réussir à bien transmettre au navire l'impulsion qu'elle peut procurer, et, en même temps, de disposer un embrayage d'un effet sûr, lorsque le vent est suffisant pour marcher rapidement par l'action des voiles, quand on ne fait pas fonctionner la machine à vapeur, pour qu'elle ne s'oppose pas alors au mouvement du navire. La figure 3418 représente le système d'embrayage à grande surface et le coussinet de butée de l'arbre de l'hélice qui ont le mieux réussi; ce dernier est composé de rainures qui reçoivent les collets de l'arbre, disposition heureuse et supérieure à toutes celles qui avaient été tentées, en ce qu'elle donne la possibilité d'accroître la surface de butée en augmentant le nombre des rainures, et par suite d'atteindre le point où il ne se produit qu'un frottement sans usure du métal, pour transmettre à la masse du navire l'impulsion de l'hélice.



3418.

II. — TRAVAIL RÉSISTANT.

Du tonnage et des formes des navires à vapeur.

La longueur des traversées que doit faire un navire à vapeur et la vitesse avec laquelle il doit les effectuer déterminent le minimum du tonnage qu'il doit posséder, en donnant le poids des machines et des approvisionnements qu'il doit transporter.

Le principe de l'accroissement du tonnage des navires comme moyen d'augmenter la puissance des machines plus rapidement que les résistances qui s'opposent au mouvement, ce qui correspond bien à l'augmentation des vitesses par comparaison à un type connu, est facile à établir. En effet, les capacités de deux navires semblables sont entre elles comme les cubes des lignes homologues, tandis que les résistances proportionnelles au maître couple immergé sont entre elles comme les carrés de ces lignes. Donc, en augmentant les dimensions des navires, on peut leur adapter des machines (et des approvisionnements proportionnels au nombre de chevaux-vapeur de la machine, en raison de la longueur de la traversée) dont le poids et la puissance croissant comme le tonnage, c'est-à-dire comme les cubes, augmenteront plus vite que les résistances et donneront par suite des vitesses croissantes.

Il ne faut se fier, que comme à un moyen de trouver une première approximation, à ce raisonnement qui conduit cependant à des résultats assez bien confirmés par l'expérience. En effet, il n'est pas rigoureusement exact de considérer tous les éléments de deux bateaux que l'on compare comme proportionnels; ainsi dans un navire double d'un autre, les poids agissant au bout de leviers plus longs, aux extrémités du navire notamment, produisent, dans les cas d'échouage surtout, des effets destructeurs d'une intensité bien plus que double; la sécurité ne peut résulter que de constructions plus solides et bien plus pesantes par suite que celles obtenues avec des éléments qui seraient calculés d'après la simple proportionnalité des dimensions.

La résistance du fluide augmente plus rapidement que les dimensions; inversement et par la même cause, donnant au point de vue du mouvement du bateau des résultats contraires, l'action du propulseur croît moins rapidement que ses dimensions. Ainsi, comme je l'ai dit plus haut, à mesure que la pale d'une roue devient plus grande, l'eau se dégageant plus difficilement, est projetée en l'air en plus grande quantité; la proportion du travail utile devient de ce fait d'autant moindre, à mesure que le travail moteur augmente.

Les accroissements de vitesse deviennent donc de plus en plus coûteux, et bientôt des augmentations énormes de dépenses ne donnent plus que des résultats insignifiants, tant qu'on reste dans les applications des mêmes systèmes.

Les dimensions des principaux navires transatlantiques pour les traversées les plus longues, qui peuvent être considérés comme des modèles d'une grande perfection, sont les suivantes :

Ligne Cunard : Liverpool à New York.

Asia (à roues). — Tonnage, 2,436 tonneaux. — Longueur à la flottaison, 79.40. — Largeur, 12.15. — Creux, 5.55. — Maître couple, 60.40. — Sillage, 2 nœuds. — Piston, 4. — 1.91 diam.

Compagnie péninsulaire et orientale : Inde.

Himalaya (à hélice). — Tonnage, 3,750 tonneaux. — Longueur à la flottaison, 97.5. — Largeur, 14.18. — Creux, 10.85. — Diamètre de l'hélice, 5.40 (à deux ailes). — Pas, 8.54.

Machine, 1,200 chevaux, 2 pistons, 2^m,03 diamètre, 1^m,06 course, 60 tours par minute.

Pour les navires de guerre à hélice, c'est la puissance de l'armement, le nombre de canons qu'ils doivent porter qui en détermine les dimensions. Nous donnerons ici les chiffres pour quelques constructions célèbres :

Napoléon. — 950 chevaux, 90 canons. — Longueur de la coque, 75^m,25. — Largeur, 18^m,80. — Section immergée, 98. — Hélice, 5^m,08.

Bretagne. — 1,200 chevaux, 130 canons. — Longueur de la coque, 81 mèt. — Largeur, 18. — Creux, 8^m,35. — Hélice, 6^m,30.

Des formes. — La détermination des formes les plus convenables se rapporte, on le sait, à un de ces phénomènes complexes qui échappent à la puissance de la science pure; elles sont bien plus le résultat de la pratique des ingénieurs et des constructeurs que des travaux de théorie pure.

On représente en général la résistance par KAV^2, K étant un coefficient variant de 0,09 à 0,063, suivant les formes, multipliant 60^k, résistance pour un mètre carré de la section immergée transversale A d'un corps flottant, au point où elle est plus large, du maître couple; et V la vitesse. Le travail résistant est donc KAV^3 pour un chemin parcouru égal à V et par seconde.

Une solution passable du problème de la détermination des formes est facile à obtenir quand il s'agit de la navigation fluviale. Employer la machine la plus légère possible, allonger beaucoup le bateau pour diminuer le maître couple immergé A, enfin donner à la proue comme aux évidements de la poupe des formes imitées de bons modèles, c'est ce qui a été fait avec assez de facilité et avec succès par la plupart des habiles constructeurs qui se sont distingués dans les constructions de bateaux à vapeur destinés à la navigation fluviale.

La question est bien plus complexe quand il s'agit de la navigation maritime; les agitations de la mer ne permettent plus sans danger les mêmes allongements que sur les fleuves, les faibles tirants d'eau qui sont presque suffisants pour assurer les grandes vitesses dans la navigation fluviale; des navires construits ainsi seraient bientôt brisés, ne sauraient tenir la mer. Il faut donc se préoccuper d'éléments variables et accumuler les résultats d'expériences pour résoudre pratiquement un problème insoluble en principe, en ce sens que les formes qui conviendraient pour une vitesse et un état donné de la mer ne sauraient convenir pour une autre vitesse, une autre direction du navire par rapport à celle des vagues et du vent; de telle sorte qu'une forme convenable en un moment donné ne le sera plus le moment suivant.

Nous passerons brièvement en revue les conditions principales du problème de la construction des bateaux à vapeur, celles qui influent sur la détermination des lignes principales.

Longueur et largeur. — Le tonnage étant donné, le navire à construire se trouve par suite classé dans une catégorie dont le tirant d'eau est en général déterminé, au moins pour les petits navires, par la condition de stabilité, de manière à empêcher le navire de rouler à cause de l'influence de la quille saillante. Pour les grands navires, on est obligé souvent de rester pour le tirant d'eau bien au-dessous des dimensions proportionnelles, par rapport aux petits, le plus souvent par s'est élevé successivement jusqu'à arriver dans les derniers transatlantiques à grande vitesse (Cunard), jusqu'à s'approcher de 7 : 1. Sur les rivières il s'est élevé de 7 à plus de 20.

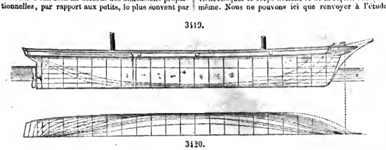
M. Brunel a même osé adopter le rapport de 8 : 1 dans le *Léviathan*, et ce n'est pas la première fois qu'on l'a appliqué, même dans de moins bonnes conditions que ce navire construit de manière à obtenir une grande solidité par un mode de construction spécial dont nous aurons occasion de parler plus loin.

Avant de navire. — On a tenté bien des essais pour modifier cette partie du navire et résoudre le problème de faire que, pour une vitesse donnée de marche, le fluide soit écarté pour faire place au navire sans former un remous nuisible. Je dis nuisible, parce que si la réaction, qui écarte le fluide perpendiculairement à la direction du corps flottant, produit seulement l'effet d'écarter par communication de vitesse de proche en proche le liquide de manière à engendrer un vide intérieur exactement égal à celui du navire et un passage rapide par la surface de ce volume du liquide de l'avant à l'arrière, il n'y aura pas réaction nuisible, mais seulement la communication des forces vives au fluide, qu'on ne saurait éviter, le minimum possible de consommation du travail avec les éléments dont on dispose.

On a pendant longtemps incliné beaucoup le taillemer, en pensant que cette disposition qui faisait attaquer le liquide obliquement avait beaucoup de valeur, ce qui semblait peu fondé d'après le raisonnement ci-dessus. En effet, les Américains, très-habiles constructeurs de navires à grande vitesse, ont complétement renoncé à ce mode de construction, et leurs bateaux à taille-mer droit et fin ne le cèdent à aucun.

Si cet élément est sans valeur, sinon comme ornement, il n'en est pas de même des surfaces gauches qui constituent les faces de la proue et qui, par leur analogie évidente avec le versoir de la charrue, ont pour objet de retourner sur elle-même la vague qui vient choquer le corps flottant et de la replier sur elle-même. Nous ne pouvons ici que renvoyer à l'étude

3419.



3420.

suite du peu de profondeur d'eau du port d'embarquement. La vue des bons modèles indique le tirant d'eau nécessaire pour une stabilité suffisante, pour qu'il ne roule pas trop.

Le creux étant fixé, la question des dimensions se réduit à fixer le rapport entre la largeur et la longueur; inférieur de 4 à 1 dans quelques anciens navires à voiles, n'acquérant jamais de grandes vitesses, mais tenant très-bien la mer, ce rapport a été successivement croissant sur mer comme sur les rivières, grâce aux progrès de l'art de la construction qui a permis de braver, sans accident, les gros temps, et grâce à la facilité d'évoluer, de faire obéir au gouvernail un bateau auquel on peut toujours imprimer un mouvement de progression. Ce rapport, variable suivant les constructions, des meilleures constructions, dont nous donnerons une idée par la figure qui représente le steamer *le Francfort*, très-bonne construction anglaise, figure qui permet de faire apprécier le mode de représentation des courbures, à l'aide de la projection sur trois plans rectangulaires.

3421.

Le premier (fig. 3419) est vertical, passe par l'axe longitudinal du navire, et reçoit la projection des coupes obtenues par des plans parallèles à ce plan, indiqués dans la projection horizontale (fig. 3420). Celle-ci (où l'on ne représente qu'une moitié à cause de la symétrie) représente les courbes obtenues par des plans horizontaux équidistants, dont la trace rectiligne est indi-

quée sur la première figure. Enfin le troisième plan de projection, perpendiculaire aux deux premiers, donne les courbes qui répondent aux coupes par des plans perpendiculaires à la longueur du navire, un côté correspondant aux façons avant, l'autre aux façons arrière.

Arrière du navire. — Les flancs du navire doivent, comme la proue, retourner la lame quand la mer prend le navire par le travers, mais surtout faciliter, par leur rentrée progressive, le passage de l'eau de l'avant à l'arrière, et réduire ainsi à son minimum tout le gonflement de l'eau à l'avant, que la dépression, le vide que tend à laisser la marche du navire, surtout aux grandes vitesses. La finesse de l'arrière a bien plus d'importance que l'on ne pourrait croire à priori, aussi bien que son allongement. C'est un résultat bien certain des constructions les plus modernes, ayant permis des vitesses jusqu'alors inconnues, que des façons avant courtes et de longues façons arrière sont les plus favorables à la vitesse pour les bateaux à vapeur, tandis qu'au contraire, pour les bateaux à voiles les plus rapides, les clippers, il faut allonger l'avant et raccourcir les façons arrière. L'expérience a ainsi ramené pour les steamers vers les formes des poissons, du saumon par exemple, qui se meuvent le plus rapidement (on dit que le saumon parcourt 8 mètres par seconde), et dont le corps, soumis intérieurement comme extérieurement à la pression du fluide, a pris des formes ayant un rapport intime avec ces vitesses et les mouvements du fluide qui accompagnent leur progression.

C'est surtout pour les navires à hélice que la finesse de l'arrière est d'une importance capitale, ce qui se comprend facilement, puisque, avec de mauvaises formes, l'hélice se meut, pour ainsi dire, dans le vide. Nous citerons, d'après Bourne, des expériences faites sur le *Dwarf*, qui l'établissent bien catégoriquement. Ce navire ayant reçu à son arrière deux épaisseurs de bordage, sa vitesse se réduisit à 3,15 avec 24 tours; avec une seule épaisseur, elle fut de 5,75 avec 26 tours, tandis qu'en enlevant tout, on retrouva la marche primitive de 9,1 avec 32 tours.

On voit quelle énorme influence a la finesse de l'arrière, l'action de l'eau qui presse le navire en se rejoignant après avoir échappé à l'action d'écartement produit à l'avant.

Des communications de forces vives du liquide au corps flottant et inversement. — Si l'on considère synthétiquement les questions de résistences de corps flottant sur des liquides, on pourra résumer tous les faits sous forme de communication de forces vives, car ce qu'on appelle le frottement n'est qu'une résistance de ce genre; il ne peut pas y en avoir d'une nature semblable à celle du frottement des solides avec des molécules aussi mobiles que celles des liquides. On pourra ainsi analyser d'une manière simple des effets qu'il serait assez difficile de bien comprendre en les attaquant par une autre voie.

Un élément important de minimum de communication de la force vive du liquide au corps flottant réside dans la masse, la solidité, la non-élasticité de celui-ci. En effet, si l'on considère un petit canot abandonné sur la mer, il est clair que, n'offrant aucune résistance à la vague qui le porte, il se mouvra exactement avec la vitesse de l'eau. Si, passant à l'extrémité de l'échelle, on suppose la gigantesque construction de Brunel, pesant 15 ou 20 millions de kilogrammes, choquée par une vague de quelques mètres de longueur, elle restera immobile du fait de cette impulsion. La vague sera retombée et renversée avec toute sa vitesse, avant qu'aucun mouvement du corps flottant, dont l'inertie est si considérable, ait eu lieu. Il n'y aura donc aucun travail produit par ce choc. Il est donc exact de dire que la grandeur de la masse soustrait en partie le corps flottant aux destructions de force vive qui résultent du choc du fluide en mouvement. Telle est, nous croyons, la cause essentielle des remarquables vitesses obtenues par le *Napoléon*, dont la masse est très-grande, au moyen de l'hélice, vitesses supérieures à celles de bateaux plus petits, ayant proportionnellement des machines motrices aussi puissantes. La machine seule du *Napoléon*, de 960 chevaux-vapeur, pèse 1,000 tonneaux, soit 1,000,000 de kilogrammes.

Quant à la communication des forces vives du corps flottant au liquide, qui explique la résistance des fluides en raison du carré des vitesses, elle se produit surtout lorsque le liquide, restant longtemps en contact avec le corps flottant, ne pouvant s'échapper, reçoit communication de sa vitesse.

La réalité de ce mode d'action est facile à établir.

Dans une série d'expériences bien connues de la Société anglaise d'architecture navale, on trouve les résultats suivants, pour une proue de 40 centimètres de longueur et 1 mètre de base :

Pour une vitesse de 0m,50, une résistance de 4 kilog.
— 3m — 130 kilog.

La résistance de pénétration, qui est de 4 kilog. pour une longueur de 0m,50, devrait être de $4^k \times 6 = 24$ kilog. pour 3 mètres. La différence $130 - 24 = 106$ kilog., c'est-à-dire les 4/5 de la résistance totale ne répondent donc pas à une action de pénétration, mais à l'impulsion communiquée à l'eau, qui ne peut s'écarter assez vite pour ne pas être choquée par le corps en mouvement.

Le grand moyen de diminuer cet effet, ce qui s'énonce autrement, de diminuer le coefficient de résistance, consiste dans l'adoption des formes les plus convenables pour que l'eau s'écarte le mieux possible, passe facilement de l'avant à l'arrière.

En dehors de cette disposition et en laissant de côté le résultat curieux de la traction des bateaux rapides dont la résistance diminue à mesure que la vitesse augmentant, la communication de vitesse au liquide n'a pas le temps de s'effectuer, je ne connais que celle que j'ai proposée, il y a une vingtaine d'années, et que je n'ai pas été assez heureux pour pouvoir encore expérimenter, je veux parler d'une insufflation d'air à l'avant, système que j'ai déjà décrit dans un premier article, dans la constitution d'un mélange globulaire d'eau et d'air qui donne de curieux résultats dans la pompe de Séville, et qui repose sur des idées ayant quelque analogie avec les moyens d'*hydropneumatisation* adoptés depuis pour les turbines. Ce système n'a pas été appliqué jusqu'à ce jour par les constructeurs, et j'admets bien volontiers que c'est avec raison, pour la plupart des cas de la pratique, mais dans les quelques cas (celui des transatlantiques notamment) où il faut obtenir à tout prix des vitesses supérieures, dont les derniers accroissements coûtent si cher et sont souvent impossibles pour des bateaux de très-grande dimension, les chances de succès seraient très-grandes. On comprend toute la difficulté qu'éprouve le liquide à s'écarter des deux côtés d'un maître couple dont la grandeur atteint 50 ou 60 mètres carrés, sans que la partie placée au centre reçoive l'impulsion du navire et agissé comme frein en amortissant sa force vive.

Dans le système que nous proposons, au contraire, l'espèce de coussin élastique que formerait le mélange d'eau et d'air, fera produire le choc entre corps élastiques au lieu de s'effectuer entre corps privés d'élasticité.

Nous avons retrouvé avec plaisir notre idée dans le savant Traité de Bourne, sur l'hélice propulsive. Voici le passage où il en est question :

« Pour diminuer le frottement de l'eau sur le fond « des navires, il me paraît qu'il serait convenable d'in-

« terposer une couche mince d'air entre la carène et « l'eau; elle serait facilement refoulée à travers une « fente pratiquée dans un tuyau de chaque côté de la « quille, et je pense qu'on obtiendrait ainsi un très-bon « moyen de lubrifier la carène. Je remarquerai qu'il « faudrait refouler plus d'air qu'il ne serait réellement « nécessaire afin de produire l'effet désiré; car non-« seulement il serait comprimé par la pression hydro-« statique, mais il serait absorbé en partie par l'eau. « Les navires ayant une marche lente à la voile, peu-« vent avoir leur vitesse augmentée en introduisant « une couche d'air à l'avant et à l'arrière : car l'air ou-« vrirait aussi bien le chemin à l'étrave qu'il rempli-« rait le vide à l'étambot, et il formerait ainsi un taille-« mer et un arrière artificiels et élastiques. »

On le voit, l'idée fait des progrès, et des hommes intelligents, familiarisés avec la pratique, commencent à l'entrevoir. Encore quelque dix ans, et le nombre des personnes qui l'auront comprise sera assez grand pour qu'il se trouve un ingénieur assez entreprenant pour tenter une application qui, faite à propos, donnera d'excellents résultats.

III. PLANS D'ENSEMBLE.

Navires à voiles comparés aux navires à vapeur.

Nous avons besoin de dire quelques mots de l'emploi du vent pour la navigation, car il faut toujours comparer la navigation à vapeur à celle à la voile, qui est le moyen économique de transport par excellence, et évaluer les frais comme les avantages des deux systèmes.

On a dit à l'article NAVIGATION comment les voiles, équilibrées de chaque côté de la verticale, passant par le centre de gravité, assuraient la direction de la marche, en même temps que la progression du navire. L'étendue de la voilure, proportionnée nécessairement à la stabilité du navire, à la résistance qu'il éprouve pour s'enfoncer de l'avant, croissant par suite avec la convexité (défavorable à la vitesse) et l'élévation au-dessus de l'eau de l'avant, mais surtout avec la longueur du navire, propriété dont on a tiré grand parti dans la construction des CLIPPERS, détermine la vitesse minimum du vent qui imprime un mouvement au corps flottant.

C'est parce que cette vitesse est assez grande pour un mouvement presque insignifiant du navire, parce que les vents, de vitesse minime, incapables de mouvoir le navire, sont assez fréquents, qu'il est des limites aux avantages des navires à voiles sur tous les autres, au point de vue économique, au moins dans quelques cas, comme nous le verrons plus loin.

Dans le cas général, l'impulsion du vent étant entièrement gratuite, il est évident qu'au point du vue de l'économie absolue des frais de traction, la navigation à voile conservera toujours une grande supériorité. Mais dès que la vitesse est une qualité précieuse, qu'il s'agit de lettres, de voyageurs, qu'il s'agit de batteries, comme sont les vaisseaux de guerre qu'il faut conduire rapidement à une place déterminée, dont la puissance n'est utile qu'à cette condition, c'est à la vapeur qu'il faut avoir recours.

Enfin, en combinant ensemble la propulsion par le vent et celle à l'aide de la vapeur, on doit pouvoir réunir, pour des cas particuliers, économie et rapidité.

Ce sont les constructions qui correspondent à ces divers cas, que je vais maintenant passer en revue.

Bateaux à roues.

Les bateaux à roues, à rames tournantes, comme les appelait Papin, les seuls qui aient été construits jusque dans ces dernières années, ne sont restés supérieurs à tous autres que pour obtenir de très-grandes vitesses; on peut à ce point de vue les classer en deux catégories.

1° Ceux qui servent pour de petites traversées, qui par suite n'ayant à transporter que de petites quantités de combustible, peuvent avoir des machines très-puissantes relativement à leur tonnage et atteignent de grandes vitesses. Tels sont les bateaux pour la navigation côtière entre les grandes villes, de Douvres à Calais, etc.

2° Ceux qui servent pour transporter les lettres et les voyageurs à de grandes distances et que la nécessité d'un grand approvisionnement force à construire de dimensions énormes. La concurrence qui assure le succès au service le plus rapide, fait même que l'on dépasse de beaucoup la limite inférieure qui permettrait d'effectuer le service avec toute sécurité, pour rechercher de plus grandes vitesses en adoptant des dimensions bien plus grandes. C'est une nécessité qu'a fait très-bien apprécier M. X. Raymond dans une excellente étude publiée dans le *Journal des Débats*, à propos de la loi relative à l'établissement de lignes transatlantiques en France.

« On peut proposer, dit-il, d'employer des navires moins coûteux, mais aussi moins rapides et moins capables que ceux des Américains et des Anglais. Supposons qu'au lieu d'employer des navires de 800 ou 1,000 chevaux de force, et de 2,500, de 3,000, de 4,000 tonneaux de charge; qu'au lieu d'employer du si grands navires, nous nous contentions de bâtiments de 1,500 à 1,800 tonneaux et de 400 à 500 chevaux de force. On en peut construire de ces dimensions avec lesquels on serait à peu près sûr de pouvoir en toute saison franchir l'Atlantique en beaucoup moins de temps que n'en mettent les navires à voiles pour aller d'Europe en Amérique. Il est de plus incontestable que ces navires coûteraient moins que les grands paquebots qui font aujourd'hui le service, et comme prix de construction, et comme frais d'exploitation. Mais trouverait-on une économie réelle à s'en servir? Je ferai d'abord remarquer que sur des bâtiments construits dans ces conditions, l'espace utile, celui qui produit des recettes, celui qui peut être fructueusement consacré au transport des passagers ou des marchandises, est relativement inférieur à celui que l'on peut se réserver sur les grands navires, si bien que, tout compensé, il en coûte en définitive plus cher pour transporter un passager ou une tonne de marchandise sur un paquebot de médiocre puissance que sur un paquebot de grandes dimensions. La capacité utile croît en raison même de la grandeur et de la force des navires. C'est la loi générale qui régit tous les armements maritimes, qui domine encore plus impérieusement que toutes les autres une entreprise comme celle d'un service de paquebots transatlantiques, qui ne doit pas demander ses conditions d'existence à la modicité de ses frais d'établissement, mais au développement des sources qui peuvent lui apporter des recettes. Voilà ce qu'enseigne la théorie et ce que la pratique confirme par de nombreux exemples. En effet, ce n'est pas une idée nouvelle, et ce ne serait pas la première fois qu'on se laisserait prendre à la décevante tentation d'essayer de s'établir sur l'Océan avec des navires qui coûteraient moins que les grands paquebots des compagnies anglaises ou américaines de New-York, de Liverpool ou de Southampton. Les compagnies qui se sont formées pour établir sur ces données d'une économie trompeuse des services réguliers n'ont pas réussi.

« De nombreux exemples démontrent qu'il n'y a rien à espérer, au moins pour l'accomplissement d'un service postal et régulier, de navires de petite dimension et de faible puissance. Ils se trouvent, comme on dit, pris entre l'enclume et le marteau, entre les grands paquebots qui attirent nécessairement tout ce qui a besoin de vitesse, passagers, correspondance ou marchandises, et les bâtiments à voiles qui transportent souvent

sans différence appréciable dans le temps et toujours à beaucoup moins de frais, tout ce qui n'est pas forcé d'arriver à jour et à heure fixes, tout ce qui est devenu valeur négociable ou échangeable, lorsqu'une lettre dirigée par la voie la plus rapide a fait savoir qu'il était embarqué pour sa destination à bord d'un bâtiment quelconque. Or, c'est là le cas où se trouve la plus grande partie des marchandises échangées par le commerce entre toutes les parties du monde. »

Ainsi la nécessité d'avoir de très-grands navires munis d'un moteur très-puissant est parfaitement démontrée; mais en même temps cette grandeur a une limite dans l'abondance du fret, dans le nombre de passagers qu'il est possible de réunir, dans le rapport des revenus qui peuvent résulter de cet accroissement avec les dépenses que nécessite l'agrandissement des navires, tant comme frais de premier établissement que pour les dépenses d'entretien, de navigation, etc.

Si nous étudions la célèbre compagnie Cunard, qui dessert la ligne entre Liverpool et New-York, et qui jouit d'une juste réputation pour sa parfaite entente de ce service, nous verrons que, pour cette ligne, on trouve aujourd'hui petits les navires comme l'*Arabia* dont nous donnons ici les dimensions, et malgré les succès de vitesse du *Persia*, elle paraîtrait le trouver un peu grand, car elle ne se presse pas de multiplier cette construction pour remplacer les bâtiments moindres qui partagent le service avec elle. Voici les renseignements sur l'*Arabia* :

Longueur.	86m,90
Largeur.	12m,35
Tirant d'eau moyen.	6m,2
Surface immergée du maître couple.	63 m.
Déplacement..	3,750 ton.
Tonnage.	2,300 ton.
Force nominale de la machine.	960 chev.-vap.
Poids des machines.	680 ton.
Espace occupé par la machine.	928 m. c.
Combustible brûlé en 24 heures	90 ton.
Poids réservé pour la cargaison.	400 ton.
Vitesse moyenne des traversées..	11 nœuds, 37

Le nœud correspond à un mille, soit 1,851 mètres, 11 nœuds 37 donnent donc 21 kilomètres par heure.

Le *Persia* a un tonnage de 3,500 tonneaux, sa machine à action directe, dont les cylindres sont placés sous l'arbre des roues, est d'une très-grande puissance, et a fait parcourir 13 nœuds, soit 24 kilomètres à l'heure, de vitesse moyenne sur des traversées totales, qu'il ne faut pas confondre avec des vitesses d'essai en eau calme. Ce résultat a été considéré comme très-remarquable, et la plupart des ingénieurs admettent qu'il approche beaucoup du maximum qu'il est possible d'atteindre avec les modes de construction adoptés jusqu'à ce jour.

Navires à hélice.

Tout le monde s'est intéressé à la transformation de la marine militaire qu'est venue récemment accomplir l'adoption de l'hélice pour mouvoir les navires de guerre. Ne rien changer aux batteries des navires à voiles, garnir d'une ligne non interrompue de canons les flancs du navire, le faire mouvoir par des machines placées au-dessous de la flottaison, et par suite à l'abri du boulet de l'ennemi, amener rapidement au point voulu, faire évoluer facilement cette puissante machine de guerre, tel est le programme auquel les nouvelles constructions de navires à vapeur à hélice ont complétement satisfait. Il n'est pas besoin de dire quelle puissante machine de guerre est un semblable navire et combien il est impossible au navire à voiles, qui ne peut se mouvoir que lentement et manœuvrer qu'autant que le vent le permet, de venir lutter avec un adversaire qui lui est si supérieur. Les dernières guerres ont démontré victorieusement combien une semblable lutte était impossible, et qu'il n'y avait plus de marine militaire que pour les nations pouvant réaliser ces grandes constructions.

Nous emprunterons à M. Ch. Dupin quelques détails sur le *Napoléon*, qui a été le premier véritable et grand succès de ce genre de navire en France. La vitesse de ce puissant navire, dont nous avons déjà indiqué les dimensions et la puissance, a atteint 13 nœuds et demi, soit plus de 6 lieues par heure, c'est-à-dire est supérieure à celle de la plupart des steamers à grande vitesse. D'après les calculs primitifs, elle n'eût pas dû dépasser 11 nœuds pour un petit navire, résultat qui a bien démontré l'avantage des grandes constructions pour conserver de grandes vitesses à la mer, dont j'ai fait apprécier plus haut les motifs probables.

Le *Napoléon* a pu remorquer deux grands vaisseaux à voiles, dont un à trois ponts, en conservant une vitesse de 5 nœuds et demi.

Comment une escadre de navires à voiles pourrait-elle venir affronter les feux de semblables navires? Cela est évidemment impossible, et la transformation complète des flottes militaires, qui devront être composées exclusivement de navires à hélice, est une œuvre qui se poursuit chez toutes les nations maritimes. Il n'y a ni doute ni hésitation possible à cet égard.

Le grand défaut du *Napoléon* était dans le poids des engrenages de transmission du travail produit par deux énormes cylindres. Dans les dernières constructions, celles de l'*Algésiras* et de la *Bretagne*, on a adopté des machines à action directe, sans engrenages, dont nous avons donné plus haut le dessin ; on a multiplié les cylindres et augmenté les courses pour pouvoir travailler avec de longues détentes. Ces types sont les plus perfectionnés qui aient été réalisés jusqu'ici pour les navires à hélice. Les ingénieurs de la marine donnent pour ces vaisseaux, pas peut-être dans la pratique courante, mais pour les épreuves de réception, des consommations de 2 kilogrammes de houille par cheval-vapeur réel, très-différent de la force nominale évaluée en général d'après les dimensions des cylindres, et en supposant que les choses se passent comme dans la machine de Watt, ce qui est bien loin d'être exact, surtout quand, comme dans le cas actuel, on emploie la moyenne pression.

Le commerce a construit nombre de navires à hélice. C'est surtout pour le parcours de distances assez limitées, quand des vitesses moyennes sont suffisantes pour le cabotage, le transport des marchandises à distance modérée, pour celui du charbon de terre, notamment en Angleterre, que l'hélice a été employée.

Dans les constructions de navires destinés à de longues traversées, les navires à hélice n'ont pas en général réussi, comme nous l'avons dit à l'article BATEAUX A ROUES, et cela parce que ces navires, ne marchant pour ainsi dire pas vent debout, sont obligés de céder le pas à la vitesse supérieure des bateaux à roues. La confiance de nombre de constructeurs dans les qualités nautiques des navires munis du nouveau mode de propulsion leur fait toujours espérer que quelque nouveau progrès viendra déterminer la supériorité de l'emploi de l'hélice pour la vitesse et assurer ainsi son triomphe complet et absolu. Cet espoir repose surtout sur les qualités nautiques du navire à hélice, qui, n'ayant plus les tambours des bateaux à roues, auquel la machine placée très-bas assure une grande stabilité, peut utiliser une puissante voilure. C'est ainsi que le *Napoléon* a une voilure représentée par 28, quand celle d'un navire à voiles de même dimension serait représentée par 31. Aussi marche-t-il très-bien à la

voile, et l'économie qui en résulte dans la pratique, dans tous les cas où une grande vitesse n'est pas nécessaire, ou quand le charbon fait défaut, est un avantage très-précieux.

Moins utiles au point de vue des transatlantiques, du transport accéléré des lettres et des voyageurs, ces avantages n'ont-ils pas un très-grand prix pour le transport à bon marché des marchandises? C'est ce que nous allons examiner, après avoir dit quelques mots d'un nouveau système qui a une grande analogie avec le navire de guerre à hélice.

Canonnières. — Lors de la guerre de Crimée on a vu paraître des batteries flottantes mues par des machines rappelant de tout point celles des locomotives, la tige du piston agissant par action directe sur l'arbre de l'hélice. Ces canonnières, fort remarquables au point de vue militaire, qui par la grosseur du calibre de leur artillerie, la portée des pièces qu'elles portaient, l'épaisseur des masses couvrantes, assuraient le triomphe de la marine sur les remparts de pierre, n'ont eu rien de remarquable au point de vue de la navigation. Leur forme peu propre à la marche, rendant leur résistance considérable, pendant que la vitesse en général un peu trop grande de l'hélice faisait que la presque totalité du travail s'usait à faire tourner l'eau, rendait ces batteries terribles d'assez tristes navires. Elles ne devaient guère employer leurs machines que sous le feu de l'ennemi, car étant munies des chaudières à haute pression de locomotives, l'alimentation à l'eau de mer y produisait rapidement des incrustations considérables qui rendaient bientôt dangereux l'emploi des chaudières tubulaires.

NAVIRES MIXTES

Dans lesquels la vapeur est l'auxiliaire de la voile.

Les bateaux mixtes sont aujourd'hui des bateaux à hélice, dans lesquels la propulsion par la vapeur ne joue qu'un rôle secondaire relativement à celui du vent qui gonfle les voiles, de manière à ne pas changer trop radicalement les prix de revient des transports. Dans cette combinaison, les machines étant petites, occupant peu de place et ne consommant que des quantités assez modérées de combustible, ces navires peuvent être supérieurs même aux simples navires à voiles, mus par un moteur entièrement gratuit pour certaines traversées, au point de vue de l'économie. Cela résulte du plus grand nombre de voyages qui peuvent être accomplis dans un même temps, d'où une grande économie sur les frais généraux afférents à chaque voyage; cette supériorité peut surtout se rencontrer pour des traversées de faible étendue, pour lesquelles la partie du tonnage à prendre pour le charbon est peu considérable, où le fret toujours en excédant permet d'éviter toute perte de temps, et lorsque la régularité d'un transport accéléré à départs réguliers constitue une véritable valeur commerciale.

On a vu à l'exposition les curieux modèles de Gache de Nantes, de Carlsund de Suède, à cylindres inclinés vers l'axe de l'hélice, machines à action directe, qui, se plaçant à l'extrémité arrière d'un navire, permettent de munir, sans sacrifier beaucoup de place, un navire à voiles d'une machine auxiliaire, qui assure la régularité de sa traversée. Malgré ce qu'il offre de séduisant, ce système se développe peu, non à cause des périls et de l'emplacement de la machine si heureusement réduits, mais à cause du poids et du prix du combustible. Le navire à voiles étant employé, par suite du bon marché du fret qui permet la propulsion gratuite du vent, il est difficile de trouver, dans l'économie de quelques jours de traversée que produira la consommation du combustible embarqué, un profit correspondant à sa valeur. C'est un point de vue militaire que ces navires mixtes, c'est-à-dire munis d'hélices et de machines à vapeur de faible dimension relativement à leur tonnage, conservant d'ailleurs la puissante voilure des navires à voiles, paraîtraient d'une grande importance. On avait pensé un instant à transformer ainsi la majeure partie de nos anciens vaisseaux de ligne, mais les formes s'y prêtant mal, on n'a obtenu ainsi que de mauvaises constructions.

Le succès du *Napoléon*, en montrant que l'on pouvait réunir une puissante voilure à une grande puissance motrice de vapour, surtout en plaçant très-bas la machine à hélice qui vient remplacer une partie du lest considérable nécessaire aux grands navires de guerre, a fait abandonner les vaisseaux mixtes, moins coûteux, mais constituant des machines bien moins puissantes et comme vitesse et quant aux effets terribles qu'ils peuvent produire par leur choc, élément nouveau et très-énergique de la puissance de destruction de ces grandes machines, qui n'a pas encore été appliqué dans toute l'étendue qu'il comporte.

Pour bien comprendre les insuccès de l'emploi de l'hélice auxiliaire dans la navigation du commerce, il faut remarquer que l'action de l'hélice ne s'ajoute pas à celle du vent lorsque celui-ci est trop faible pour produire la vitesse moyenne que l'on veut obtenir, mais en annule en partie l'effet en faisant marcher le bateau, si bien que la dépense du moteur mécanique procurant le plus souvent, et à grands frais, une vitesse à peine supérieure à celle gratuite du vent, le capitaine est toujours disposé à économiser un combustible qu'il brûlerait sans résultat sensible, et, le plus souvent, il accomplit ses traversées sans employer son hélice. Il n'en serait pas de même si l'on pouvait combiner un système à l'aide duquel la durée de la traversée fût sûrement réduite, en raison du combustible brûlé, de manière à obtenir l'accroissement de vitesse moyenne que l'on espérait gagner à l'aide de l'hélice auxiliaire. C'est ce qu'il ne me paraît pas du tout impossible de réaliser.

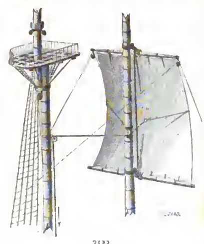
Navires mixtes sans autre appareil de propulsion que les voiles.

Il me semble que l'on pourrait étudier un système assez curieux pour aider à l'action du vent au moyen de la vapeur, et accroître la rapidité de la marche de ces admirables navires à voiles dits *clippers*, qui, dans certaines traversées, d'Angleterre en Australie notamment, sont parvenus à lutter de vitesse avec les bateaux à vapeur, tout en conservant une supériorité immense comme économie.

Si l'on considère une voile carrée, supportée par des vergues horizontales, dont les bords (rendus suffisamment rigides) soient assemblés en leur milieu par un cordage, qu'enfin celui-ci, ou plutôt une autre corde attachée à celle-ci en un point variable, en raison de la direction du vent par rapport à l'axe du bateau, vienne passer sur une poulie adaptée au mât placé en arrière de celui qui porte la voile (fig. 3422), on pourra, en exerçant une action sur l'extrémité de cette corde, par exemple en l'assemblant à l'extrémité de la tige du piston d'une pompe à vapeur à simple effet ou d'un balancier mû par elle, exercer une traction sur toute la voile. Pour cela, toutefois, il est nécessaire que l'assemblage des vergues avec le mât permette à la voile de s'écarter de celui-ci sans qu'elles se rapprochent l'une de l'autre, ce qu'on obtiendra facilement en plaçant les vergues à l'extrémité de charnières assemblées au mât par un collier, ce qui limite l'écartement de la voile par rapport au mât; et en forçant ces charnières à marcher ensemble en les réunissant par une barre qui, avec le mât, forme parallélogramme. A l'aide de ce mécanisme, le travail de propulsion dû à la voile sera considérablement augmenté. En effet, il est évident que par chaque coup de piston la voile sera attirée contre le vent,

BATEAU A VAPEUR.

que le navire sera halé à l'aide de la résistance qu'il offrira, ce qui produira une traction contre la poulie qui porte le cordage, puis le piston se relevant, sans dépense de vapeur, la voile s'élevant par l'effet du vent



3422.

viendra produire un choc impulsif sur le mât qui la porte et pousser le navire. C'et effet sera possible pour toutes les aires de vent en faisant varier le point du cordage attaché aux deux bords de la voile, à l'aide duquel on exerce une traction.

Soit V la vitesse du vent, donnant sur la surface A de la voile une pression KAV^2, K coefficient d'expérience dont les principales valeurs sont, d'après Poncelet, pour V, de 0 à 5^m $K=2,81$ et V variant de 4 à 9^m $K=1,3574$. Le travail que produira cette pression pour une vitesse W du navire sera KAV^2W par seconde. W étant en général très-petit, on voit que le travail est petit pour des navires lourds et pesamment chargés. C'est l'explication du grand succès des clippers qui obtiennent de belles vitesses, directement parce que leurs formes diminuent les résistances, et permettent de leur faire porter beaucoup de voiles, et indirectement parce que la vitesse plus grande, obtenue par cette diminution de résistance, augmente le travail moteur du vent. C'est ce même effet que produira le système que je propose. Ainsi, supposons que le mouvement de la pompe, analogue à une machine de Cornouailles, donne à la voile une vitesse moyenne de 1 mètre par seconde, celle du bateau étant également de 1 mètre, le travail que le vent transmettra à la voile, qui était KAV^2, deviendra $KAV^2 \times 2$, sera doublé, la voile agissant comme si elle refoulait le vent avec une vitesse égale à 2. Si le bateau ne se déplaçait pour ainsi dire pas, si l'on avait $W = 0,10$, les quantités respectives de travail seraient $KAV^2 \times 0,10$ et $KAV^2 \times 1,10$; ainsi, dans le cas le plus important, le travail serait décuplé; c'est dans ces cas que, par un mécanisme analogue à la cataracte, on augmenterait considérablement le travail en multipliant les oscillations de la voile pendant l'unité de temps. On agirait certainement ainsi d'une manière bien plus efficace dans ce cas qu'avec l'hélice auxiliaire.

La vitesse de la voile pour le maximum de travail utile produit par le vent ne correspondant nullement à la plus petite valeur, au contraire le travail étant nul pour une vitesse nulle, on voit que les mouvements alternatifs de la voile qui changent sa vitesse, non-seulement transformeront en impulsion le travail mécanique de la vapeur, lors de la traction, mais encore augmenteront la quantité de travail engendré par l'action du vent, notamment lorsque la voile s'élèvera librement, et l'utiliseront pour mouvoir le navire et surmonter les résistances qui s'opposent à son mouvement.

Si l'on remarque que la voile est un excellent moyen d'impulsion, que, en tout cas, dans ce système, dont on retrouve des analogies dans les manœuvres des bateaux-pêcheurs, le travail dépensé n'est qu'en raison de l'impulsion communiquée au navire, qu'il permet (et c'est là le point capital) avec un mécanisme simple, pouvant même être disposé pour utiliser au cabestan le travail d'un équipage nombreux, de naviguer avec des vents trop faibles pour produire une impulsion sensible, et par suite sans donner de travail moteur, il semble que ce système étudié par d'habiles praticiens pourrait avoir du succès. Déjà, sur de très-grands clippers, on a pensé à employer une machine à vapeur auxiliaire pour aider à l'exécution des grandes manœuvres, relever les gros cordages, hisser les grandes voiles, etc. Il faudrait aller au delà, augmenter l'action des vents faibles, pour que jamais, pour ainsi dire, ils ne soient soumis aux calmes qui seuls compromettent la vitesse de traversée de ces beaux navires.

Dans ces conditions, la diminution du temps des traversées étant toujours en raison du combustible brûlé, on voit qu'il y aura toujours avantage à consommer la quantité emportée dès que le vent faiblira, en faisant donner à la machine un nombre de coups de piston d'autant plus grand que la vitesse du vent sera moindre. On parviendra à établir ainsi, pour de longues traversées, des lignes de clippers qui effectueront leurs voyages avec une vitesse remarquable, une régularité et une économie très-grande par l'effet de la multiplication des voyages annuels de ces beaux mais dispendieux navires.

La difficulté est de réaliser cette disposition d'une manière acceptable par la pratique, notamment de ne pas compromettre la solidité des mâts qui auraient à résister à des efforts considérables en des points fort élevés. On y parviendrait par l'emploi des cordages ou tirants en fer, réunissant solidement les extrémités des mâts entre eux et avec la coque, sans détruire l'élasticité qui est une condition essentielle.

BATEAUX A ROUES ET A HÉLICES.

Projet de transatlantiques à très-grande vitesse.

Les roues à pales demeurent le moyen principal de propulsion des grands navires transatlantiques, c'est ce que nous avons cherché à établir par le raisonnement et l'expérience ; l'hélice seule ne saurait aujourd'hui être adoptée pour les bateaux à grande vitesse parce qu'on ne peut, pour une résistance donnée, faire dépasser une certaine limite aux dimensions ou à la vitesse de l'hélice, sans voir croître rapidement les tourbillonnements, les entraînements circulaires de l'eau, en atteignant même plus tôt qu'avec les roues à pales les limites *maxima* de dimension et de vitesse au delà desquelles le travail moteur est dépensé presque inutilement ; de telle sorte qu'en définitive la vitesse du navire sera moindre avec l'hélice qu'avec les roues, pour un même travail moteur.

Mais aussi il paraît évident que lorsqu'il s'agit de constructions nécessairement très-grandes, comme nous l'avons vu pour les transatlantiques avec lesquels on cherche, même au prix de grands sacrifices, à dépasser

les limites ordinaires de vitesse acquises aujourd'hui en employant un des deux systèmes, lorsqu'on consomme un travail moteur considérable pour obtenir les derniers degrés de vitesse, pour atteindre les dernières limites du *maximum* possible, il y aurait avantage à joindre le travail d'une hélice à celui des roues, à y appliquer une partie du travail moteur engendré. On arriverait ainsi à une réduction notable sur le temps total d'une traversée, tant parce que pendant la durée de celle-ci il y a, en général, toujours quelques jours de gros temps pendant lequel l'hélice travaillerait mieux que les roues, que surtout parce que l'action de ce propulseur, agissant dans les conditions de *maximum* d'effet utile, ne devrait être comparée qu'à celle produite par un accroissement de grandeur des pales, qui, au delà de certaines limites, devient tout à fait minime.

C'est M. Brunel qui, dans son immense navire construit dans le système tubulaire, a le premier réalisé la réunion des deux moyens de propulsion sur un même navire, et bien que l'expérience ne puisse donner de résultats bien probants, à cause de la grandeur inusitée des organes propulseurs, je suis convaincu que le célèbre ingénieur a vu parfaitement juste, en appréciant les avantages pour les navires de grande dimension à grande vitesse, de la réunion de ces deux propulseurs qui agissent, remarquons-le en passant, l'un au-dessus, l'autre au-dessous du centre de gravité. Seulement si l'on considère comme propres à mouvoir l'hélice, seulement les machines lourdes et encombrantes comme celles du *Napoléon*, par exemple, il n'y a pas à songer à les réunir à celles d'un bateau à roues sans se rapprocher de la gigantesque construction de M. Brunel, sans sortir de toutes les limites habituelles, puisqu'on doublerait le poids des machines et des approvisionnements qui est déjà un *maximum* pour chaque système.

Persuadé que la réunion des deux propulseurs était le moyen de réaliser un très-grand progrès pour les transatlantiques, si on savait convenablement employer l'hélice qui, en dehors de son emploi isolé, n'a servi jusqu'ici que d'auxiliaire assez imparfait des voiles; qu'elle pouvait devenir un auxiliaire des roues; voyant ce progrès parfaitement mûr au moment où la France se décidait à créer des lignes postales, et pouvait par suite créer un matériel très-supérieur à tout ce qui existait, j'ai essayé de formuler le moyen de réaliser ce progrès dans une brochure à laquelle j'emprunterai la description de l'ensemble du système, dont j'ai déjà décrit les principaux éléments.

La puissance motrice principale est une machine à vapeur à action directe, à six cylindres inclinés montés sur un bâti triangulaire, alimentée de vapeur à la pression de deux atmosphères et demie. Les cylindres de $1^m,40$ de diamètre, 2 mètres de course et $1^m,40$ de vitesse, produiraient 1 tour en 3 secondes ou 20 tours par minute. Dans ces conditions, les six cylindres donneront pour une détente de deux fois le volume primitif de 1 mètre cube, soit 0,65 de hauteur admise, un travail d'environ 1,400 chevaux, avec une consommation de 12 mètres cubes de vapeur en 3 secondes, soit $4^k,44 \times 4 = 4^k,44$ par seconde et par heure 16,000 kilogrammes, qui exigeraient à raison de 1 kilog. de houille par 6 ou 7 kilog. de vapeur seulement, 2,500 kilog. environ, soit, pour 24 heures, 60 à 70 tonneaux de combustible.

On voit qu'un magnifique navire de 3,500 à 4,000 tonneaux, construit de formes convenables pour les grandes vitesses, aurait, par les améliorations apportées à la combustion et surtout par l'emploi de la détente, une consommation moindre avec une puissance motrice au moins égale à celle des plus grands steamers existants. On aurait donc déjà de ce fait la vitesse obtenue par les meilleurs transatlantiques.

Si, de plus, on fait passer la vapeur sortant des cylindres dans des condenseurs à surface métallique, établis ainsi que nous l'avons supposé précédemment, nous pourrons admettre que nous disposerons de ce fait de 7,000 à 8,000 kilog. d'eau pure. Or, d'après M. Poirée, une machine locomotive mixte du chemin de fer de Lyon, pesant 24 tonnes, a développé une puissance motrice de 250 chevaux en consommant 3,900 kilog. d'eau et 450 kilog. de houille. On pourrait donc alimenter d'eau une double locomotive donnant 500 chevaux de puissance motrice ne pesant que 48 tonnes et usant moins de 1,000 kilog. par heure.

C'est ce résultat que nous proposons d'obtenir en employant cette double locomotive placée à l'arrière du bâtiment, à faire tourner une hélice. En employant de l'eau pure, nous acquérons la possibilité d'utiliser au profit de la navigation tous les progrès qu'on a réalisés dans la construction de la locomotive, le chef-d'œuvre de la mécanique moderne, comme légèreté, puissance, économie. Pour cela il fallait la conserver tout entière, c'est-à-dire employer la pression élevée, le tirage par le jet de vapeur, la chaudière tubulaire, l'articulation directe des bielles à l'arbre de l'hélice.

La vitesse de rotation de l'hélice se prête tout à fait à cette application, surtout dans le cas actuel où elle doit être accrue de toute la vitesse que le bateau reçoit des roues, rapportée à l'hélice. C'est cet élément de vitesse, qui ne frappe pas à première vue, qui est la condition essentielle de succès de ce système, c'est ce qui rend impossible le renouvellement de l'insuccès, en tant que vitesse, des canonnières. Tandis que la grande résistance que celles-ci rencontrent dans le liquide, à cause de leurs formes, reproduit la condition de l'hélice appliquée à un navire ayant vent debout, c'est-à-dire fait qu'elle n'imprime qu'une impulsion insuffisante pour produire une grande vitesse, que tout le travail moteur est usé à mouvoir circulairement le cylindre d'eau dans lequel elle demeure sans produire de travail utile; ici, au contraire, l'hélice, toujours entraînée dans de nouvelles couches d'eau par l'action des roues, pouvant prendre une vitesse bien plus grande que celle des bateaux mus par l'hélice seule, est dans les meilleures conditions pour produire son *maximum* de travail. Nul doute que ce supplément si désirable de travail moteur, utilisé par un organe différent des roues et travaillant dans d'excellentes conditions, donnant de bien autres effets que le même travail utilisé au moyen d'un supplément de vitesse des roues ou de grandeur des pales, ne conduise à d'excellents résultats.

Une condition essentielle pour qu'un double propulseur soit appliqué à un bateau, sans inconvénient, c'est que la coque du bateau soit assez solide pour ne pas fatiguer par l'effet de cette double action. C'est à quoi on arrive par des constructions en fer, que le commerce préfère avec raison chaque jour davantage pour les grandes constructions, en appliquant des dispositions qui assurent une très-grande rigidité. C'est ce qu'on obtiendra avec des armatures intérieures en fer ou mieux encore par l'emploi de tôles croisées, comme sur les bateaux du Rhône, sans avoir recours, à cause de la dépense, à l'application si élégante du système tubulaire, inauguré sur mer par M. Brunel. Le prix élevé de semblables constructions est compensé par leur durée, car bien que les progrès de chaque jour tendent à faire abandonner rapidement les constructions navales qui datent de quelques années, nul doute qu'à mesure que l'on progressera, qu'on se rapprochera des limites qu'indique la théorie, les progrès seront moins radicaux et on profitera davantage de la solidité et de la durée des bonnes constructions.

Vitesse de ces bateaux. — Le travail de la résistance se compose de la valeur de celle-ci : δKAV^2 (A maître couple immergé, K coefficient de réduction en raison de la forme, δ densité = 1 pour l'eau, V vitesse) mul-

tipliée par le chemin parcouru, or, en une seconde, le chemin parcouru est V, c'est-à-dire KAV^3 pour la vitesse V. Si donc deux bateaux sont sensiblement dans les mêmes conditions de formes et de dimensions, on pourra admettre la proportionnalité du travail moteur aux cubes des vitesses. Si l'on applique cette formule au système ci-dessus pour en apprécier les effets, comparativement aux constructions existantes, ce qui revient en réalité à supposer implicitement qu'il s'agit du même propulseur employé à utiliser le travail moteur, et par suite, sans tenir compte du principal avantage du système proposé qui consiste à employer deux propulseurs dans les conditions indiquées, on aurait pour le moins, en comparant au *Persia*, de même grandeur à peu près et de 1,200 chevaux-vapeur de puissance, $13^3 : x^3 :: 1200 : 1900$; d'où $x = 15$ nœuds, indépendamment de la meilleure utilisation de la force motrice.

C'est un semblable accroissement de vitesse qui est le but qu'on doit aujourd'hui se proposer d'atteindre dans ces constructions ; je crois avoir indiqué le moyen d'y parvenir sans une plus grande dépense journalière, par suite avec une très-grande économie sur les traversées totales qui s'effectueront en un moindre nombre de jours. Je ne doute pas que la pratique ne confirme bientôt ces indications, et je souhaite vivement que ce soit au profit des grandes lignes de transatlantiques français, que j'avais en vue en étudiant cette belle question de la navigation par la vapeur.

BENZINE. Ce corps s'extrait en abondance des goudrons fournis par la distillation de la houille pour produire le gaz d'éclairage. C'est un carbure d'hydrogène dont les propriétés se rapprochent beaucoup de celles des essences, telle que l'essence de térébenthine. Elle forme un liquide transparent, très-fluide, d'une saveur amère ; sa densité est 0,85. Elle s'évapore à l'air, à la température ordinaire et bout à 86°. L'odeur éthérée qu'elle répand rappelle celle du goudron ; elle ne laisse aucun résidu après son évaporation.

Nous parlerons à l'article ESSENCES des composés qu'elle forme avec les acides et qui fournissent des produits assez analogues à plusieurs essences d'un prix élevé, pour pouvoir leur être substituée dans plusieurs applications industrielles.

La benzine, dissolvant les corps gras et résineux, est employée avec succès pour le dégraissage des tissus de toute espèce, sur lesquels elle n'exerce d'ailleurs aucune action décolorante ou autre. Les corps gras étant la base la plus ordinaire des taches faites sur les meubles, les vêtements, les gants, la benzine les fait parfaitement disparaître. La benzine a sur les autres substances, qui pourraient être employées pour le même usage, l'avantage de ne laisser aucune trace sur l'étoffe, de ne pas se résinifier à l'air, comme le font la plupart des essences végétales, et de se volatiliser très-promptement.

BLANCHIMENT. Une amélioration importante a été apportée au procédé du blanchiment de la pâte de papier et des tissus formés de fibres de végétaux, à l'aide du chlorure de chaux, par un jeune fabricant appartenant à une famille célèbre par de nombreux succès industriels, M. P. Firmin Didot. Nous empruntons l'exposition des principes, sur lesquels elle repose, à la note qu'il a publiée.

On sait que le chlorure de chaux pris isolément n'a aucune action sur les fibres des chiffons ainsi que des étoffes, et que, pour que son action ait lieu, il faut faire intervenir un agent capable d'opérer sa décomposition. Que l'on mette en effet, dans un flacon hermétiquement bouché, du chlorure de chaux avec de la teinture de tournesol, cette teinture n'est nullement décolorée. Mais vient-on à laisser pénétrer de l'air dans ce flacon, la décoloration s'opère, le chlorure de chaux se trouvant ainsi décomposé par l'acide carbonique contenu dans l'air. Il y a alors formation d'acide hypochloreux, et c'est ce dernier qui, cédant d'une part son oxygène à l'hydrogène des matières colorantes pour former un équivalent d'eau, et, d'une autre part, unissant son équivalent de chlore à un second équivalent d'hydrogène des matières colorantes pour former de l'acide chlorhydrique, opère ainsi leur blanchiment.

Le blanchiment au *chlore liquide* s'exécutant toujours dans des vaisseaux ouverts, il en résulte que la décomposition du chlorure de chaux n'est due le plus ordinairement qu'à l'action de l'acide carbonique contenu dans l'air. Mais la décomposition du chlorure de chaux au contact de l'air ne s'exécute qu'avec une très-grande lenteur, car l'air ne contient *qu'un quatre dix-millième* d'acide carbonique : aussi est-on quelquefois obligé, pour hâter le blanchiment, de provoquer cette décomposition par l'intervention d'un acide énergique, le plus ordinairement par l'acide sulfurique. Or, ce moyen a des inconvénients très-fâcheux : d'abord, l'emploi de l'acide sulfurique, ou de tout autre acide, occasionne un surcroît de dépense; en outre, les appareils sont détériorés au bout de peu de temps, et, ce qui est plus grave, les chiffons ainsi traités perdent de leur force, leurs fibres étant affaiblies par ce traitement trop énergique.

« L'addition de l'acide sulfurique à la dissolution de chlorure de chaux, a dit Berthollet dans son *Traité sur la teinture*, tome I, p. 273, en augmente l'effet par la décomposition du chlorure de chaux ; mais pour que cet effet soit assez considérable, il faut une quantité d'acide qui devient dangereuse. »

Pour obvier à ces inconvénients et arriver au même résultat de promptitude, la question était fort simple, mais cependant jusqu'à présent elle n'avait pas été résolue : il s'agissait de trouver un agent de décomposition ne produisant aucun effet fâcheux, n'entraînant dans aucune dépense, et permettant d'exécuter le blanchiment avec une grande rapidité. Nous croyons avoir résolu ce problème, en ayant eu l'idée d'employer l'acide carbonique qu'il suffit de puiser à des sources constantes, dans les usines, à l'aide de moyens mécaniques.

Des expériences réitérées, exécutées d'abord dans des laboratoires, puis sur une grande échelle, nous ont prouvé que nous ne nous étions pas trompés, que notre conception avait été heureuse, puisque ces expériences ont été accompagnées du succès le plus concluant.

L'acide carbonique, tout le monde le sait, est de tous les acides le moins énergique ; son action sur les fibres des chiffons est donc nulle. Le moyen auquel nous avons recours pour l'obtenir n'entraîne aucune dépense.

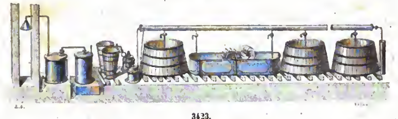
Un appareil semblable à celui que nous allons décrire fonctionne régulièrement depuis longtemps déjà. Les points de comparaison que nous pourrions établir entre ce nouveau mode de blanchiment et l'ancien sont trop nombreux pour que nous entreprenions ici de les énumérer ; nous dirons seulement que, *théoriquement*, notre procédé doit effectuer le blanchiment des chiffons, ainsi que celui des étoffes, *deux cent quatre-vingts fois* plus vite que l'ancien. En effet, la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air n'est que de *un quatre dix-millième*, tandis que celle que contient la cheminée d'un foyer en combustion est, en moyenne, de *sept* pour cent.

Nous avons placé dans des appareils à blanchiment des chiffons de qualités identiques ; une portion de ces appareils fonctionnait par l'ancien procédé, l'autre portion fonctionnait par le nouveau ; les nombres obtenus sont le rapport de la rapidité du temps employé pour les opérations ont été de 1 à 5, de 1 à 7, et de 1 à 10. Quant à l'économie résultant de la suppression de l'a-

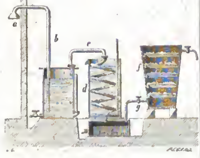
cide sulfurique et de la possibilité de bleuchir rapidement une grande quantité de chiffons ou d'étoffes avec un nombre très-minime d'eppareils à blauchiment, elle est des plus notables.

L'eppareil, doot la figure 3423 représente l'ensemble et le figure 3424 les détails à l'entrée du gaz, est disposé et construit de le manière suivante :

Un tuyau *a* part d'un générateur quelconque, où l'on



3423.



3424.

veut puiser l'acide carbonique; einsi, par exemple, de la cheminée d'un foyer dont l'activité est constante, ou il est puisé par une pompe aspirante très-simple; ce tuyeu plonge en fond d'un réservoir *b*, rempli d'eau en partie, faisant l'office de leveur, où le gaz se sature d'eau, qu'il soit chaud ou froid. Au moyen d'un tuyau *c* partant de la partie supérieure de ce laveur, le gaz passe dans un serpentin *d*, où il se refroidit, s'il est chaud.

L'extrémité inférieure du serpentin pénètre dans la partie supérieure d'une caisse fermée, munie d'un robinet de vidange; le caisse est destinée à recevoir l'eau condensée dans le serpentin. — Le serpentin est dans un réfrigérant, au fond duquel arrive un courant d'eau froide par un tube; — l'eau chaude s'écoule par un trop-plein. — La caisse fermée porte à sa partie supérieure un tuyau pour communiquer avec le partie inférieure d'un épurateur *f*. — Cet épurateur est un cône tronqué en bois ou en métal pourvu intérieurement de claies en osier ou de treillages en bois ou métal, espacées d'environ deux décimètres; on le garnit de mousse, de laine, etc., humide, si on le juge nécessaire; ou bien on remplace cette disposition par des cadres garnis de toiles, de feutres, etc., assez clairs pour laisser passer le gaz tout en retenant les poussières, etc.; on les mouille aussi au besoin. De l'épurateur, le gaz passe dans un tuyau qui le porte dans les cuves où le metière à blanchir est mélangée au chlorure, dans une pile à papier par exemple, comme on le voit dans la figure 3421.

BORIQUE (ACIDE). Le plus important des usages de l'acide borique est la fabrication du borax, et, sous cette dernière forme, les arts céramiques en consomment une quantité considérable; brut, il est, en effet, trop impur pour entrer directement dans la composition des glaçures auxquelles il communique des qualités précieuses, brillant et dureté; cependant, l'acide borique entre en nature dans la préparation des couleurs vitrifiables destinées à la décoration de la porcelaine et des faïences; mais ce dernier emploi n'enlève que des quantités inappréciables à côté de celles que consomme la fabrication des glaçures. En Angleterre surtout, le borax est l'objet d'une consommation considérable. En France, cette matière acquiert tous les jours une importance de plus en plus grande, ainsi qu'il résulte des données suivantes :

	QUANTITÉS IMPORTÉES.		QUANTITÉS EXPORTÉES.	
	Commerce général.	Commerce spécial.	Commerce général.	Commerce spécial.
	kil.	kil.	kil.	kil.
1846	109,920	109,683	3,513 *b*	973 *b*
1850	113,598	145,973	21,272 *b*	16,179 *b*
1851	115,014	134,597	3,582 *b*	4,815 *b*
1852	140,667	140,667	3,789 *b*	2,206 *b*
1853	146,809	146,809	2,532 *b*	350 *b*
1854	214,366	213,630	12,274 *a*	397 *a*
			3,802 *b*	1,459 *b*
1855	159,829	159,528	3,644 *a*	3,641 *a*
	200,921 *a*	198,458	7,531 *a*	3,401 *b*
1856	98,288	96,973	255 *b*	255 *a*
	158,503 *a*	158,469 *a*	20,514 *b*	5,913 *b*
1857	299,064	296,694	3,077 *a*	2,672 *a*
	145,350 *a*	90,643	12,966 *b*	9,333 *b*

Les nombres suivis de le lettre *a* s'appliquent au borax brut, ceux marqués de le lettre *b* représentent du borax raffiné.

On voit, en comparant les chiffres de l'importation en commerce général et spécial, qu'à partir de 1852 l'industrie française n'avait plus de réserve. Depuis cette époque, nos industries ont souffert du monopole que l'Angleterre exerce sur la production de la Toscane. Cependant cette source n'est pas la seule à laquelle on a recours pour obtenir les acides bruts ou le borax commun. On en reçoit du Pérou; toutefois les quantités les plus importantes arrivent de l'Angleterre et de la Toscane. Le borax brut vient sur le marché français des Indes anglaises et du Chili. L'exportation se fait principalement en borax brut et borax raffiné pour les États de l'Association allemande, pour l'Espagne, les États Sardes et la Suisse. Mais elle porte plus particu-

lièrement sur des produits de fabrication étrangère, figurés au commerce général.

Le malaise commercial qui résulte de l'absence sur les marchés des acides boriques à des prix convenables, a dû conduire les manufacturiers à se préoccuper des moyens de remplacer ces produits sans nuire aux qualités de leurs marchandises. Le problème n'est peut-être pas insoluble.

L'acide phosphorique et les phosphates permettront sans doute d'arriver aux résultats cherchés dans le cas où l'acide borique viendrait à manquer. Certains silicates à plusieurs bases, peu plombeux, peut-être à base d'oxyde de zinc, cuisant à des températures élevées, formeraient aussi sans doute des glaçures convenables d'une dureté suffisante, d'un usage dépourvu de dangers.

Mais l'important pour le présent serait de régler les prix de l'acide borique, en créant sur le sol français une exploitation régulière, comme elle existe en Toscane. On sait que MM. Bouis et Filbol ont signalé tout récemment dans les eaux des Pyrénées et du Midi la présence de l'acide borique; il est possible que de nouvelles recherches fassent découvrir des sources exploitables.

Je disais, il y a quelques années, qu'il était à désirer qu'on tirât parti des amas de borate de chaux, dont l'Amérique du Sud présente de grandes masses, contenant en moyenne 0,1344 de borate de soude, et 0,2635 de borate de chaux. Les borates sont intimement mêlés à des chlorures, iodures, bromures, et à des sulfates alcalins. En traitant ce mélange par l'acide chlorhydrique à chaud, on a de l'acide pur cristallisé; en le traitant par le carbonate de soude, on a du borax; en fondant le mélange brut avec des silicates alcalins ou plombeux, on a directement une glaçure convenable pour les diverses sortes de poteries.

Nous avons indiqué plus haut que l'acide phosphorique et les phosphates pourraient être substitués à l'acide borique et aux borates dans la fabrication des poteries. Ces matériaux pourraient être assurément aujourd'hui puisés à différentes sources.

On rencontre dans la nature un phosphate de chaux basique de même composition que le phosphate de chaux des os. On lui donne le nom de *phosphorite*.

Lorsqu'on traite par l'acide sulfurique la cendre d'os, on obtient un phosphate acide de chaux; ce sel, soumis à l'action de la chaleur, se transforme en métaphosphate de chaux; ce sel entrera certainement un jour comme fondant dans un grand nombre de composés céramiques.

On a signalé récemment dans le nord de la France, et particulièrement dans les départements de la Seine-Inférieure, de l'Oise, du Pas-de-Calais, du Nord, de l'Aisne, des Ardennes, de la Meuse, du la Marne, de la Haute-Marne, de l'Aube et de l'Yonne, l'existence de phosphates fossiles. Ces matières pourraient être avantageusement introduites dans les arts céramiques, comme elles le seront incessamment en agriculture.

Les gîtes se rencontrent à peu près à la surface du sol; ils sont généralement formés par l'agglomération de nodules gros comme des œufs de poule, gris ou verdâtres, empâtés dans la craie sous forme de galets.

Lorsque la roche encaissante est solide, la chaux phosphatée s'y présente en nodules disséminés et empâtés dans la masse.

Lorsque la roche encaissante est meuble, la chaux phosphatée s'y présente indépendante et constitue sous cette forme des lits réguliers, dont l'épaisseur varie entre 10 et 35 centimètres.

En moyenne, la richesse en phosphate des nodules de la première catégorie varie entre 0,32 et 0,60; celle des nodules de la deuxième catégorie entre 0,46 et 0,65.

L'analyse faite sur les amas de phosphates trouvés agglomérés dans la craie de l'arrondissement de Vouziers (Ardennes) a conduit sur trois échantillons aux résultats suivants :

Argile et silice.	25,66	30,00	35,7
Oxyde de fer.	traces	traces	traces
Chaux.	44,54	46,94	32,5
Acide phosphorique.	12,12	12,72	22,0
Acide carbonique.	7,33	7,66	4,9
Eau et matières volatiles. .	10,33	»	4,9

Les phosphates de cette composition pourraient certainement entrer dans la préparation d'un grand nombre de glaçures qu'on applique sur les poteries, peut-être même sur les poteries fines.

Mais la solution du problème est peut-être plus proche encore qu'on ne le croit; car, sans remplacer le borax, on peut l'emprunter à des matériaux moins coûteux que l'acide borique brut ou purifié.

Pour faire ressortir l'importance de la question, citons quelques chiffres. Le borax est surtout en Angleterre l'objet d'une consommation considérable. En évaluant à 1,500 tonnes la masse de borax employée dans l'année par le monde entier, 1,000 tonnes sont consommées dans le Staffordshire, dans l'Écosse et le reste de l'Angleterre; le Staffordshire seul entre pour un chiffre de 666 tonnes dans cette consommation. La manufacture de M. Minton en écoule par an, dans les diverses glaçures des produits qu'elle fabrique, 10 à 12 tonnes, sans tenir compte des 4 tonnes de tinkal qui provient directement des Indes.

Le borax valait à Liverpool, en 1851, 1,750 francs la tonne, en 1857, 2,400 francs. Sa fabrication est monopolisée depuis plusieurs années entre les mains de M. Wood, de Liverpool.

Or les dépôts de borate de chaux qu'on exploite tant au Chili qu'au Pérou, peuvent modifier sous peu de temps ces conditions anormales. Une manufacture d'une certaine importance traite à Bordeaux ces amas boraciques, pour en retirer l'acide purifié ou pour les transformer en borax. D'autre part, on utilise directement en Angleterre le borate de chaux qu'on fait fondre avec les divers éléments de glaçures. Ce borate de chaux n'était connu qu'à l'état d'échantillon de collection, lorsqu'en 1851 l'Exposition universelle appela sur lui l'attention des hommes de progrès.

Un chimiste américain, nommé Hayes, l'avait découvert tout formé dans la nature, et les minéralogistes le désignaient sous le nom de *hayessine*. L'Amérique du Sud le livre maintenant au commerce européen. On l'extrait de la province Tarapaca du Pérou, très-près du port d'Iquique; c'est un sel blanc qui se présente sous forme de cristaux soyeux et brillants, agglomérés en nodules irréguliers plus ou moins volumineux.

Le borate de chaux, à l'état de pureté, contiendrait :

Acide borique.	45,00
Chaux.	20,00
Eau.	35,00

Mais tous les échantillons sont loin de présenter la même richesse en acide borique; les nodules sont en général composés de borates de chaux et de soude, de sulfates et de chlorures en proportions variables, souillés par des matières terreuses adhérentes à la surface des nodules et qui les pénètrent quelquefois. Quelques nodules ont empâté des cristaux de quartz. Voici les résultats que m'ont donnés les analyses de trois variétés de nodules :

Eau.	41,25	45,50	35,00
Acide borique.	12,44	30,18	34,74
Chaux.	16,32	11,00	15,78
Matières terreuses.	8,00	2,50	2,90
Acide sulfurique.	10,66	4,72	0,34
Soude correspondante. . . .	8,95	7,24	8,33
Chlore.	2,71	4,73	0,42

Sodium correspondant.	1,50	1,13	0,32
Iodures et bromures.	»	»	»

Les iodures n'ont pas été dosés ; ils sont inégalement répartis à l'intérieur d'un même nodule. Ce gisement est voisin de celui des azotates de soude qui nous viennent maintenant en assez grande quantité du Pérou. Comme la tonne d'acide borique vaut, à l'état cristallisé, 1,875 francs, on comprend l'intérêt qu'il y aurait à faire usage de l'acide borique emprunté sans travail au borate de chaux. Cette matière est amenée de l'intérieur avec des mules ; elle est vendue à bord à raison de 300 francs la tonne. Le fret coûte, pour arriver en Europe, 87,5 la tonne. En ajoutant ces chiffres, on trouve que la valeur d'environ 300 kilog. d'acide cristallisé ne dépasserait pas 390 francs pris à bord. On emploie ce sel actuellement, sans autre préparation qu'un simple épluchage, dans plusieurs fabriques de l'Angleterre. Voici, d'après M. Nathan Hacney, comment on fait usage de ce composé pour remplacer le borax dans les glaçures : on le lave, puis on l'amène à l'état de poudre sèche ; on ajoute 0,25 de bicarbonate de soude, le tout est mélangé mécaniquement. Pour faire un vernis, on prend :

	I.	II.
Cornish stone	45	45
Borate mêlé de soude	75	50
Silex	25	25
Craie	9	9
Cristaux de soude	15	5
On calcine, puis on ajoute :		
Céruse	30	30
Oxyde de cobalt	traces	traces
Oxyde d'étain	4	4
Craie	»	9
Silex	»	25

Ces chiffres donnent deux compositions limites.

J'ai fait moi-même pour le service de la Manufacture de Sèvres des glaçures au borate de chaux pour vernir des terres cuites, simplement en substituant le borate de chaux au borax que j'employais antérieurement. Il suffit, pour avoir une glaçure de bonne qualité, de fondre le mélange suivant :

Minium	2000 kilog.
Sable	1000
Borate de chaux	500

On coule la fonte dans l'eau, on la lave à l'eau bouillante, puis on la broie par décantation.

Cette glaçure admet en mélange toute espèce d'oxyde métallique pour la préparation des émaux colorés.

Les commerçants anglais comprennent tellement l'importance de ces exploitations, qu'ils ont tout fait jusqu'ici pour s'en rendre acquéreurs. La fermeté des gouvernements du Chili et du Pérou les a fait résister jusqu'à ce jour. La propriété n'a pas encore été transmise aux étrangers qui se la disputent. SALVÉTAT.

BOULETS TOURNANTS ET PERCUTANTS. Les améliorations apportées dans ces dernières années aux armes portatives, la précision du tir, la longue portée des armes carabinées, surtout avec l'emploi des balles allongées ayant la forme du solide de moindre résistance, appelaient des progrès semblables dans l'artillerie, dans les puissantes machines qu'elle traîne sur les champs de bataille, qu'elle conduit devant les places assiégées.

L'intérêt qu'a toujours excité en nous cette question nous ayant fait chercher à nous tenir au courant des divers essais qui ont été tentés, je pourrai publier ici un travail complet sans enfreindre les lois d'une juste discrétion imposée par l'importance de certains détails de construction, dont le secret constitue une véritable propriété nationale.

La supériorité du tir de l'artillerie sur celui des armes portatives réside dans ces conditions principales :

La portée ;

La précision ;

L'intensité des effets.

Les fusils et les carabines, par l'adoption des divers systèmes de balles allongées et de rayures de leurs canons, satisfont si bien aux deux premières, depuis quelques années, qu'il a semblé à beaucoup de militaires que l'artillerie avait perdu son ancienne prééminence. Mais l'artillerie n'avait pas attendu pour marcher dans la voie du progrès que l'exemple lui fût donné. Depuis longues années, elle travaillait en silence ; seulement le problème qu'elle avait à résoudre était bien autrement ardu ; les difficultés étaient bien plus grandes que pour les armes à feu.

Les procédés successivement proposés pour obtenir plus de portée et plus de justesse, pour les boulets comme pour les balles, peuvent être classés en trois catégories.

Dans la première, on cherche à supprimer le vent, c'est-à-dire l'espace laissé libre entre le projectile et l'âme de la pièce. On conçoit que le projectile d'un diamètre plus petit que celui de l'âme de la pièce sort non en glissant contre ses parois, mais par bonds successifs, ce qui est à la fois une cause de détérioration pour l'arme et d'incertitude pour le tir. Dans la carabine à balle forcée, au contraire, la balle sort en glissant, et c'est là précisément la cause de la supériorité de son tir sur celui de la balle roulante qui ricoche le long de l'âme du fusil. Mais on peut forcer une balle en plomb contre les parois en fer d'une carabine, comment forcer un projectile en fonte contre les parois en bronze d'un canon? Nulle possibilité d'ailleurs de changer le métal du projectile, tant à cause du prix exagéré qu'atteindraient des approvisionnements en un métal plus cher que la fonte, que parce que la dureté de celle-ci est la condition essentielle de la pénétration des projectiles dans les corps durs, pour la destruction des fortifications notamment. Il en est de même pour la pièce de canon, comme nous l'avons dit à l'article BOUCHE A FEU. On voit de suite que sur cette première question les conditions du problème sont inverses : ici un projectile d'un métal plus malléable que celui de l'arme ; là, au contraire, un projectile rigide et une arme d'une détérioration très-facile. C'est là la grande difficulté du problème pour les bouches à feu.

Dans la deuxième catégorie, on change la forme du projectile, on l'allonge pour le rapprocher de la forme du solide de moindre résistance, ce qui permet de tirer un poids plus grand avec une âme d'une dimension et d'une résistance données, et l'on espère procurer au tir plus de justesse, en imprimant au projectile, ce qui est indispensable avec la forme allongée pour maintenir la direction, un mouvement de rotation autour de son grand axe.

Enfin, dans la troisième, on cherche à combiner les effets de la suppression du vent et de la rotation du projectile.

La rotation, condition essentielle de l'emploi de projectiles non sphériques, est imprimée par deux méthodes différentes.

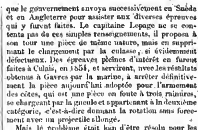
La première consiste à engager dans des rainures faites en hélice dans l'âme de la pièce, des tenons en saillie sur la surface du projectile ; dans l'autre on utilise la pression des gaz soit contre des palettes posées sur une tige vissée à l'arrière du projectile, soit contre des évents pratiqués dans les projectiles mêmes.

Pour mieux faire comprendre l'application de ces différents procédés, nous citerons quelques-uns des plus récents qui en offrent chacun un exemple remarquable.

Nous dirons auparavant un mot d'un système tout particulier qui a été tenté en Angleterre pour des

canons en fonte qui ont un moment attiré l'attention publique. Je veux parler des canons Leicester, qui sont des canons en fonte à âme tordue. Le problème mécanique consistant à exécuter une âme semblable à l'aide d'un alésoir dont l'outil est guidé par un noyau central hélicoïdal, est évidemment soluble, et, en effet, l'exécution de ces canons a été fort bien réussie en Angleterre. Mais ce qui n'a pas réussi, c'est le canon même. Et d'abord il ne répondait qu'à une partie du problème; il ne comportoit évidemment pas des projectiles allongés, ce qui est une condition essentielle de succès. Toutefois un mouvement de rotation autour de l'axe horizontal suffit pour accroître la justesse du tir dans une grande proportion, aussi les résultats des premières expériences avaient fait croire à un certain succès pour ce genre de canons; mais, comme on devait s'y attendre, le boulet rencontrant des parois inclinées a produit des effets destructeurs pour la pièce, pour peu surtout que le vent du projectile fût un peu notable. L'expérience a parfaitement prouvé qu'il n'y avait rien à faire dans cette voie.

Système Cavalli. — Le major Cavalli est un officier de l'armée sarde; il a l'honneur d'avoir le premier proposé un système assez pratique pour que son adoption ait eu lieu chez quelques puissances : en Sardaigne, par exemple, et en Angleterre pour l'artillerie de marine. Cet officier fut envoyé, en 1846, à Acker, en Suède, pour fabriquer et expérimenter des pièces de son invention, d'un gros calibre, destinées à remplacer les mortiers pour la défense des côtes. Son canon est en fonte, du calibre de 30; l'âme porte deux rainures en hélice du pas de 3m,75, le chargement a lieu par la culasse (fig. 3425 et 3426). Le projectile pèse 25 kilog., est cylindro-ogival et porte sur sa partie cylindrique deux ailettes (*a*) venues de fonte avec le projectile qui entrent dans les rainures (*b*) de la pièce. C'est, comme on voit, le système de la rotation sans le forcement. Les épreuves constatèrent de remarquables résultats; ainsi avec 3k,628 de poudre et sous un angle de 5°, les portées moyennes des boulets sphériques et des projectiles allongés sont à peu près les mêmes; mais sous l'angle de 10°, les seconds dépassent les premiers de 358 mètres, et de 700 sous l'angle de 15°.



3425.

3426.

Si l'on prend la charge de 4k,534, l'augmentation de portée commence avec l'angle de 5°; elle est alors de 400 mètres, puis de 600 mètres pour 10°, et enfin de 1,000 mètres pour 15°.

Enfin, avec la charge de 5 kilog. que l'on adopta, on obtient une portée moyenne de 5,000 mètres, tandis que le mortier de 32, avec une charge de 14 kilog., ne va que jusqu'à 4,000 mètres et avec une justesse incomparablement moindre. Ces travaux furent connus en France par les rapports du capitaine Lepage, que le gouvernement envoya successivement en Suède et en Angleterre pour assister aux diverses épreuves qui y furent faites. Le capitaine Lepage ne se contenta pas de ces simples renseignements, il proposa à son tour une pièce de même nature, mais en supprimant le chargement par la culasse, si évidemment défectueux. Des épreuves pleines d'intérêt en furent faites à Calais, en 1854, et servirent, avec les résultats obtenus à Gavres par la marine, à arrêter définitivement la pièce aujourd'hui adoptée pour l'armement des côtes, qui est une pièce en fonte à trois rainures, se chargeant par la gueule et appartenant à la deuxième catégorie, c'est-à-dire donnant la rotation sans forcement avec un projectile allongé.

Mais le problème était loin d'être résolu pour les pièces en bronze. On ne pouvait songer aux ailettes en fonte qui eussent mis les bouches à feu immédiatement hors de service en arrachant le bronze, puisque le rapport de dureté entre l'âme et le projectile est inverse de celui qui existe dans la carabine, où le projectile en plomb suit les rainures d'une âme en fer. De plus, il n'était pas prouvé qu'à des distances plus rapprochées, telles que celles demandées par le service de campagne, la justesse dans le système de rotation sans forcement fût supérieure à celle des projectiles sphériques.

Système de M. le lieutenant Gras. — En 1850, M. le lieutenant Gras proposa deux projectiles cylindro-ogivaux auxquels il proposait de donner un mouvement de rotation autour de leur grand axe, et cela sans faire subir à la pièce en bronze aucune modification, en employant la réaction des gaz passant dans des évents inclinés ménagés à l'intérieur ou dans des canaux pratiqués à la surface du projectile.

La rotation fut produite d'une manière assez satisfaisante, mais la trajectoire était très-irrégulière, et l'on fut conduit à admettre en principe que dans tout système de projectile allongé tournant autour de son axe, la condition de la suppression du vent ou du forcement était indispensable. En effet, si l'on considère la manière dont un projectile sphérique se comporte dans l'âme de la pièce au moment de l'expansion des gaz causée par l'inflammation de la poudre, on remarque d'abord une pression sur cette âme par la partie inférieure du projectile. Celui-ci se relève ensuite et parcourt l'âme de la pièce par bonds successifs; c'est ce qu'on appelle les battements, cause principale des irrégularités du tir qui croissent avec la forme allongée du projectile et qui ne sont en rien diminuées par la rotation insuffisante produite par l'expansion des gaz. D'autres systèmes destinés de même à produire la rotation sans forcement n'ont pas eu des résultats plus satisfaisants.

Système Burner. — La même cause amena le même résultat et vint confirmer la même conclusion pour ce système, qui était un pas important vers la solution de la question.

L'auteur proposait de creuser dans l'âme de la pièce trois rainures hélicoïdales. Dans ces rainures s'engageaient des boutons en cuivre qui faisaient saillie sur le projectile où ils étaient fixés dans un plan passant par son centre de gravité.

Les résultats furent bien autrement constants qu'avec le projectile précédent, mais toujours avec une trop grande incertitude dans la trajectoire.

Cependant la question venait de faire un pas, le tenon en cuivre n'endommageait pas d'une manière sensible la rainure pratiquée dans l'âme en bronze de la pièce, et dès lors on pouvait espérer pouvoir appliquer à l'artillerie de campagne le système Cavalli, par l'interposition, entre le bronze de la pièce et la fonte du projectile, d'un métal qui n'eût pas les effets destructeurs du second.



Nous n'entrerons pas dans les détails des quelques essais faits pour opérer le forcement par des sabots métalliques, susceptibles de s'écraser par l'effet de l'explosion. Ce culot, presque toujours brisé dans l'intérieur de la pièce, était projeté à petite distance et par suite d'un emploi dangereux. Cela n'était pas admissible.

Système du capitaine Tamisier. — Nous arrivons enfin au système qui donna la solution du problème si longtemps et si vainement cherché.

L'expérience avait démontré que toute modification apportée au projectile, sans rayer la pièce, ne pouvait réussir. L'axe de plus grande stabilité étant fort différent de l'axe de symétrie dans les projectiles allongés, dans une position donnée, dès que la rotation commence à s'établir autour de ce dernier axe, le projectile se présente plus ou moins de côté, les résistances extérieures croissent rapidement et diminuent en même temps la portée et la justesse.

Il n'en est pas de même avec des projectiles allongés à ailettes tirés dans des armes rayées : la force de rotation est alors suffisante pour donner au projectile une direction normale; cependant à sa sortie de l'âme de la pièce, il se présente encore dans des conditions assez variables pour influer d'une manière fâcheuse sur la constance de la trajectoire. De là une seconde condition imposée : le forcement.

Enfin on ne pouvait songer à employer dans des armes rayées, en bronze, des projectiles en fonte, garnis d'ailettes de même métal comme dans la pièce Cavalli. Autre problème à résoudre. Tous allaient recevoir pour la première fois une solution satisfaisante.

M. le capitaine Tamisier s'était beaucoup occupé du tir des carabines rayées, ce qui lui permit d'établir que les principes appliqués à ce tir devaient être les mêmes pour celui des canons rayés. Il se posa donc pour conditions.

I. Pour le canon :

Une âme rayée.

II. Pour le projectile :

1° La forme oblongue cylindro-conique ou cylindro-ogivale.

2° Le mouvement de rotation autour du grand axe.

3° Des résistances directrices pour corriger la dérivation dont nous parlerons tout à l'heure.

4° Enfin le forcement ou la suppression des battements.

Voici comment il satisfit à chacune de ces conditions.

La pièce choisie pour les expériences était une pièce de 6; elle reçut trois rayures en hélice, également espacées de 4 millim. de profondeur et de 22 millim. de largeur, dirigées de gauche à droite pour l'observateur qui regarde la partie supérieure de l'âme, en étant placé à la culasse de la pièce, de sorte que le projectile sort en tournant de gauche à droite.

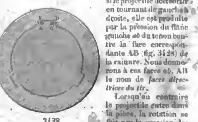
Le projectile était creux, cylindro-ogival, d'une hauteur double environ du diamètre de l'âme de la pièce, et pesant, chargé, à peu près deux fois le projectile sphérique ordinaire.

Sur la partie cylindrique du projectile, en haut et en bas, se trouvaient disposés deux à deux six tenons (fig. 3127), se raccordant exactement comme position, mais avec des dimensions un peu moindres avec les 3 rayures de la pièce. Ces tenons étaient en *zinc laminé*. Cette application du zinc, qui appartient en propre à M. Tamisier, est à elle seule la plus grande partie de la solution du problème, et, malgré nombre d'essais, on n'a pu s'en écarter.

3127.

Dans le tir des projectiles allongés, on remarque qu'ils portent toujours dans le sens de leur rotation, c'est-à-dire que s'ils sortent de l'âme de la pièce en tournant de gauche à droite, ils porteront d'une manière fort sensible à droite, c'est ce qu'on appelle la dérivation. Pour corriger cette dérivation, des cannelures horizontales à arêtes vives furent pratiquées sur la partie cylindrique du projectile; elles étaient au nombre de 7, avec une profondeur de 2mm,5. Quant au forcement, M. Tamisier l'obtint par un moyen fort ingénieux, mais qui demande, pour être compris, quelques explications préalables.

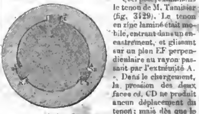
La rotation est produite par la pression du tenon du projectile contre la rainure de l'âme de la pièce, celle-ci étant tracée en hélice entraîne dans sa direction le projectile. Ainsi, si la rotation est à droite, c'est-à-dire si le projectile doit sortir en tournant de gauche à droite, elle est produite par la pression du flanc gauche *ab* du tenon contre la face correspondante AB (fig. 3128) de la rainure. Nous donnerons à ces faces *ab*, AB le nom de *faces directrices du tir*.



3128.

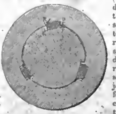
Lorsqu'au contraire le projectile entre dans la pièce, la rotation se fait par la pression des deux faces opposées *cd*, CD. Nous appellerons ces faces : *faces directrices du chargement*

Ceci posé, examinons le tenon de M. Tamisier (fig. 3129). Le tenon en zinc laminé était mobile, entrant dans un encastrement, et glissant sur un plan EF perpendiculaire au rayon passant par l'extrémité A.



3129.

Dans le chargement, la pression des deux faces *cd*, CD ne produit aucun déplacement du tenon; mais dès que le projectile se met en marche, chassé par l'expansion des gaz, la pression des deux faces *ab*, AB, directrices du tir, fait glisser le tenon sur le plan EF (fig. 3130). La saillie du tenon sur le projectile augmente alors, et son sommet vient butter contre le fond de la rainure. Il y a donc suppression du vent dans le fond des trois rainures; les battements sont annulés et le projectile, dont l'axe se confond sensiblement avec celui de la pièce, se trouve forcé.



3130.

Il était difficile de trouver une solution plus ingénieuse. Employer des tenons rapportés en zinc et leur faire produire le forcement, c'était résoudre complète-

ment le problème de la manière la plus heureuse et la plus nouvelle. Deux commissions, dont M. Tamisier faisait partie, examinèrent le système à Vincennes, en 1850 et 1851, et demandèrent la continuation des épreuves qu'elles déclarèrent satisfaisantes; malheureusement M. Tamisier, cédant à d'honorables scrupules, crut devoir, après le coup d'État du 2 décembre, donner sa démission, et se vit forcé d'abandonner ainsi à d'autres le soin des perfectionnements qui devaient rendre pratique son œuvre. La gloire de la solution trouvée ne lui en appartient pas moins tout entière, et ses camarades n'ont jamais cherché à la lui contester.

En 1853, la question fut reprise à La Fère, au point où l'avait laissée M. Tamisier, et fut soumise à une nouvelle commission, présidée par M. le général Larchey.

La commission, à la fin de ses travaux, résumait ainsi les observations qui donnent une idée complète de l'état où se trouvait la question des canons rayés en 1853.

1° Le chargement se fait sans difficulté toutes les fois que le tenon est en place.

2° La mobilité du tenon à laquelle est dû le forcement, présente plusieurs graves inconvénients. Dans le transport, le tenon se déplace, ce qui rend le chargement impossible, souvent même il s'échappe de son encastrement; plusieurs ont été retrouvés au fond des coffres. Enfin la moitié au moins de ces tenons est lancée avec la force d'une balle, à droite et à gauche, à 20, 30 et 50 mètres en avant de la bouche de la pièce.

3° En arrivant au but, ou à la fin de leur portée, les projectiles se sont toujours présentés la pointe en avant.

4° La dérivation à droite n'est sensible que dans la 2e partie de la trajectoire; on peut n'en tenir aucun compte jusqu'à 1,000 mètres. Dans le tir, sous de grands angles, il est facile, vu sa constance, d'y remédier par le pointage.

5° La supériorité de la pièce de 6, tirant un projectile pesant 5 kilog., avec une charge de 850 grammes de poudre seulement sur la pièce de 12 de campagne ordinaire, tirant un projectile de 6 kilog. avec 2 kilog. de poudre pour charge, s'est toujours maintenue sous le rapport de la justesse et de la portée.

De 600 à 900 mètres le tir est au moins égal pour les deux pièces, à 900 mètres, celui de la pièce de 6 devient incontestablement supérieur; à 1,200 mètres, cette supériorité augmente; à 1,500 et à 1,800 mètres, le tir de la pièce de 12 est sans effet, celui de la pièce de 6 est encore efficace.

6° Les ricochets sont plus nombreux et plus rasants *dans le système rayé que dans l'ancien système roulant.*

7° Dans le tir, sous de grands angles, mêmes résultats quant à la portée; sous l'angle de 30°, l'obus de la pièce de 6 a donné une portée moyenne de 4,100 mètres. Dans les mêmes conditions, le boulet de la pièce de 12 n'en a obtenu qu'une de 3,100 sans aucune justesse.

8° Les fusées lisses en bois et en zinc ont été essayées sans succès, probablement à cause de la faiblesse du diamètre de l'œil, et par conséquent de celle de la surface d'adhésion des fusées à la paroi de l'œil.

9° L'affût de 6 n'a éprouvé aucune fatigue, quoique dans le tir, sous de grands angles, il ait été placé dans les conditions les plus défavorables.

Devant d'aussi remarquables résultats, la commission n'hésite pas à conclure qu'il est de la plus haute importance de continuer les expériences relatives aux bouches à feu rayées tirant avec des projectiles à tenons en zinc.

Que ces expériences doivent porter surtout :

1° Sur la possibilité de substituer un tenon fixe au tenon mobile;

2° Sur toute autre méthode qui tendrait à rendre le chargement plus facile dans toutes les circonstances du service de guerre, soit de jour, soit de nuit;

3° Sur les moyens d'adapter à l'obus une fusée, soit en taraudant l'œil, soit en augmentant son diamètre;

4° Sur la meilleure forme à donner au projectile, en considérant l'obus de M. Tamisier comme remplissant le mieux les conditions de justesse et de portée.

Une nouvelle commission, composée à peu près des mêmes membres et toujours présidée par M. le général Larchey, se réunit en 1854, et le ministre lui ayant laissé toute latitude pour faire tous les essais qu'elle jugerait convenables dans les voies qu'avait tracées le rapport de 1853, le capitaine de Chanal, qui en avait été l'auteur, soumit à son examen cinq propositions :

1° Égueuler la pièce par un chanfrein de 4 millim. et en même temps raccorder le culot du projectile avec sa partie cylindrique par un arc de cercle de 20 millim. de rayon. Le chargement devait alors se faire avec la même facilité que pour les projectiles sphériques;

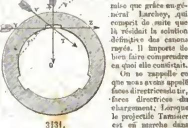
2° Agrandir l'œil de l'obus de manière à se servir de la fusée de 24 ordinaire;

3° Supprimer comme inutiles les rayures horizontales des projectiles destinés à procurer les résistances directrices;

4° Enfin remplacer le tenon mobile par un tenon fixe, mais en modifiant la forme de la rainure de la pièce;

5° Remplacer, par suite de ce changement d'action du tenon, le zinc laminé de M. Tamisier par du zinc fondu.

La quatrième proposition, qui était la principale et ne tendait à rien moins qu'à entraîner la commission dans l'examen d'un nouveau système, fut celle qui souleva le plus d'objections. Elle ne fut admise que grâce au général Larchey, qui comprit de suite que là résidait la solution définitive des canons rayés. Il importe de bien faire comprendre en quoi elle consistait.



3131.

On se rappelle ce que nous avons appelé faces directrices du tir, faces directrices du chargement. Lorsque le projectile Tamisier est en marche dans l'intérieur de l'âme de la pièce, il tourne en vertu de la pression de la face directrice du tir de la rainure contre la face directrice du tenon, cette pression est représentée par une perpendiculaire YZ à la direction de ces deux faces (fig. 3131). Le forcement s'opère par la pression du sommet du tenon contre le fond de la rainure. Cette seconde pression est représentée par une normale OX à la surface interne de l'âme. Or si l'on compose ces deux lignes OX, YZ, la force TV ou la résultante donnera à la fois et la rotation et le forcement. En abattant donc le chanfrein de la face directrice du tir de la rainure (fig. 3132), suivant une ligne TV perpen-

3132.

diculaire à cette composante, cette nouvelle face donnera la pression cherchée, pression qui produira et la rotation et le forcement.

On peut encore se rendre compte autrement de la réalité de ce résultat : soit une pièce dont la rainure ait ses deux faces directrices du tir et du chargement construites suivant le prolongement des rayons de l'âme (fig. 3433), AB est la face directrice du tir, et le tenon ne peut que s'appuyer contre elle en suivant l'hélice de la rainure, il y a alors rotation sans forcement. Soit, au contraire, cette face directrice AB (fig. 3434) inclinée, la coupe longitudinale montrera l'inclinaison de la face produisant une véritable modification de l'âme devenue d'un rayon variable OB, OX, OA, en sorte que l'on peut dire que c'est le plan incliné du projectile Tamisier sur lequel glissait le tenon qui se trouve transporté sur la pièce et que le forcement est obtenu par des moyens exactement inverses. Dans le cas du tenon mobile, le forcement était produit par un projectile, d'un rayon variable tendant sans cesse à s'accroître, glissant dans une âme d'un diamètre constant ; dans celui du tenon fixe, il est produit par un projectile d'un rayon constant, glissant dans une âme dont le rayon variable tend sans cesse à diminuer.



3433.



3434.

Cette dernière démonstration est peut-être moins saisissante que la première ; mais, outre qu'elle sert à la compléter, nous tenions à la produire parce que c'est en voulant, par une coupe de la pièce, se rendre compte de l'effet produit par la face directrice du tir de la rainure contre la face directrice du tir du tenon, que le capitaine de Chanal a trouvé la solution qui faisait l'objet de sa proposition.

Nous avons dit que la proposition avait été accueillie par maintes objections. Le capitaine de Chanal avait remarqué que lorsque les tenons du projectile Tamisier restaient en place ils prenaient l'empreinte de la rainure du canon; il prétendait donc que les tenons fixes viendraient se mouler pour ainsi dire sur le chanfrein abattu de sa nouvelle rainure et former de cette manière un ajustage parfait entre le projectile et la pièce. On répondait, au contraire, que la pression du nouveau flanc de la rainure serait telle qu'elle raserait complétement les tenons, et que si un mouvement de rotation était d'abord imprimé au projectile, ce dernier, privé de ses tenons, sortirait de la pièce sans être forcé comme le projectile Cavalli.

A Paris, le capitaine Treuil de Beaulieu, chef de l'atelier de précision du dépôt central, disait que ces tenons rapportés après coup n'avaient rien de pratique, et il voulait faire substituer au projectile que la commission de La Fère avait adopté, un projectile en fonte qu'il avait, disait-il, inventé depuis deux ans (fig. 3435). On a voulu établir, au moyen de ce projectile, une question de priorité ; ce ne peut être sérieusement, car l'insuffisance de ce système est par trop évidente. En effet, le projectile avait des tenons venus de fonte dont les deux flancs étaient tangents à sa partie cylindrique, et c'est à ce titre que l'inventeur réclamait pour lui la priorité de l'idée de la rainure à flanc incliné. Or ce projectile qui n'avait été l'objet d'aucune proposition, parfaitement inconnu à la commission de La Fère, était impossible. En inclinant également le flanc directeur du chargement et le flanc directeur du tir, son auteur prouvait qu'il s'était rendu un compte fort peu exact du rôle que devait jouer cette inclinaison. Le projectile avec ses tenons en fonte aurait en dix coups mis la pièce en bronze hors de service. — Mais, disait M. Treuil, il n'y a pas de frottement plus doux que celui du fer sur le cuivre. — Il ne s'agit pas seulement du frottement, lui répondait-on, mais d'abord au départ d'un choc et ensuite d'une énorme pression pendant tout le parcours de l'âme de la pièce. — J'étamerai fortement mon tenon. — Votre étamage ne garantira pas suffisamment la pièce, et puis comment espérer faire venir de fonte un projectile tellement ajusté que les trois faces de ces tenons viennent s'appliquer sur les trois faces des rainures correspondantes, ajustage qui se fait aisément avec une précision parfaite quand on emploie le zinc de M. Tamisier?


3435.

Le seul système qui eût pu, au point de vue de la priorité, primer celui du capitaine de Chanal est le système de M. Didion, aujourd'hui général d'artillerie. Pendant les épreuves Tamisier, en 1850, le général Didion proposa et essaya un système de rayure dont nous donnons le tracé. Le fond de la rayure donnait le forcement et en partie la rotation, il n'était plus concentrique avec l'âme de la pièce, mais incliné vers la face directrice du tir. Celle-ci se trouvait réduite à un simple arrêtoir de 2 millimètres (fig. 3436). Quant

3436.

au projectile, au lieu de deux tenons, il n'avait par rayure, comme le projectile Cavalli, qu'une ailette qui occupait toute la hauteur de sa partie cylindrique. Ces ailettes étaient en métal d'imprimerie et fondues sur le projectile même. Il est évident que si les épreuves de ce système eussent été suivies avec attention, si la proposition de M. Didion eût rencontré le patronage intelligent d'un homme comme le général Larchey, on serait très-probablement arrivé, avec quelques modifications qu'aurait apportées l'expérience, à la solution du capitaine de Chanal, et le problème de l'artillerie rayée aurait été résolu quatre ou cinq ans plus tôt, c'est-à-dire assez à temps pour recevoir son baptême de feu à la guerre d'Orient.

Grâce cependant à l'énergie et à la persévérance de

M. le général Larchey, que l'on peut dans cette circonstance considérer comme le second père du système proposé, les expériences eurent lieu, et toutes les prévisions du capitaine de Chanal se vérifièrent.

Les tenons ne furent pas rasés. Le projectile sorti de la pièce sans aucun battement tournait autour de son grand axe, et avait gagné en justesse et en portée sur le projectile Tamisier.

L'arrondissement du raccordement du culot avec la partie cylindrique du projectile, destiné à faciliter le chargement, n'eut aucune influence sur le tir.

Il en fut de même de la suppression des résistances directrices; enfin le zinc fondu put remplacer pour les tenons fixes le zinc laminé qu'exigeaient les tenons mobiles de M. Tamisier.

En 1855, une nouvelle commission s'assembla à Calais : on mit à sa disposition deux pièces de 16, tirant des projectiles de 15 kilog. Ces pièces et leurs projectiles étaient exactement construits d'après les principes dont l'application avait réussi à La Fère, c'est-à-dire que l'on allait continuer les épreuves du système Tamisier, modifié par le capitaine de Chanal, mais sur un gros calibre. On était alors au plus fort de la guerre de Crimée, et le siége de Sébastopol, ainsi que les projets d'attaque dans la mer Baltique, demandaient l'emploi des engins les plus puissants.

La même commission devait essayer en même temps deux pièces en fonte du système Cavalli, modifié par M. le commandant Lepage, modification qui, comme nous l'avons dit déjà, consistait à les charger par la bouche, tandis que la pièce primitive Cavalli se chargeait par la culasse. Ces pièces étaient des obusiers de 80, forés au calibre de 30, et tirant des projectiles pesant 50 kilog.

Les expériences démontrèrent que la modification de M. Lepage était possible. Le projectile se chargeait aussi facilement qu'un boulet sphérique, et le tir fut aussi satisfaisant que celui de la pièce Cavalli sous le rapport de la portée et de la justesse.

Les deux pièces en bronze de 16, système Tamisier modifié, donnèrent des résultats inattendus, même pour les esprits les plus prévenus en leur faveur.

Les tableaux suivants en sont le résumé, comparativement à ceux obtenus ordinairement par les pièces de même calibre à boulets sphériques. La pièce de 16 ordinaire, tirant un projectile de 8 kilog. avec 2kil,66 de charge, a une portée de[1]

955 mètres pour une inclinaison de tir de. .	2°
1,230 mètres.	3°
1,460 mètres.	4°
2,020 mètres.	7°
3,100 mètres.	15°
4,000 mètres.	40°

La pièce de 16 rayée, tirant un projectile cylindro-ogival de 15 kilog. avec 2kil,50 de charge, a une portée de

500 mètres pour un tir horizontal.	0
1,000 mètres pour un angle de tir de. . . .	1°,30
1,500 mètres	3°,00
2,000 mètres	4°,45
3,000 mètres	9°,10
4,000 mètres	14°
5,000 mètres	20°

Ainsi, pour obtenir un tir de 4,000 mètres, il faut mettre la pièce de 16 ordinaire sous l'angle de 40°, impossible dans la pratique habituelle de la guerre. On tire au contraire la pièce rayée facilement sous un angle de 20°, et l'on obtient une portée de 5,000 mètres.

[1] Ouvrage du général Piobert, page 130.

Quant à la justesse, le premier tir en a si peu que son appréciation à ces distances ne se trouve dans aucun ouvrage; celle de la pièce rayée peut, au contraire, avoir de fort bons effets. Ainsi la comparaison des deux tirs, sous le rapport de la justesse, donne le tableau suivant[1] :

	16 ORDINAIRE.	16 RAYÉ.
Distance.	Moyenne des écarts.	Moyenne des écarts.
1,000	2m,30	1m,28
1,500		1m,43
1,600	7m,20	
2,000	13m,00	1m,63
2,200	17m,20	
2,400	22m,00	
2,500		3m,00
4,000		5m,50
5,000		15m,29

Enfin, pour terminer ces comparaisons, le canon de 16 ordinaire, à 550 mètres, atteint une embrasure de batterie 11 fois sur 100, le canon de 16 rayé, à 1,000 mètres, donne le même résultat 40 fois sur 100. Quant à la dérivation, sa constance fut telle, qu'il fut possible de dresser une table des hausses horizontales et verticales depuis 1,000 jusqu'à 5,000 mètres, la hausse horizontale étant destinée à corriger complétement cette dérivation.

Les conclusions de la commission furent que le problème était résolu, qu'il n'y avait pas un moment à perdre pour transporter les épreuves sur le théâtre de la guerre. La commission demandait seulement, comme celle de La Fère, la suppression des rainures destinées à procurer des résistances horizontales, l'arrondissement du culot du projectile, et enfin un agrandissement de la chambre intérieure pour que le projectile pût contenir une plus grande quantité de poudre. Le capitaine de Chanal, devenu le major de Chanal, était encore rapporteur de la commission. Mais la commission n'avait pour président qu'un simple colonel, et son enthousiasme recevait à Paris encore des sourires d'incrédulité. Le rapporteur, le major de Chanal, se décida à porter directement sous les yeux de l'empereur les résultats obtenus à Calais. A cette époque, la guerre de Crimée préoccupait tous les esprits, et la cause des projectiles allongés, où leur rôle semblait devoir être si important, était si peu gagnée, que le président du comité de l'artillerie, M. le général Lahitte, voulait que l'armement de l'expédition de la Baltique se fît avec les canons rayés en fonte de la marine, canons expérimentés à Gavres, et qui donnaient des résultats à peu près semblables à ceux obtenus par le commandant Lepage à Calais, c'est-à-dire de la portée sans justesse, ne trouvant pas que les études sur les canons Tamisier modifiés fussent assez complètes.

L'empereur décida que l'armement de l'expédition qui devait avoir lieu dans la Baltique contiendrait 50 pièces de 24 rayées au nouveau système, et tirant des projectiles creux cylindro-ogivaux à tenons fixes, pesant 25 kilog. La commission s'assembla encore à Calais à la fin de 1855 et au commencement de 1856; une table de tir était dressée pour les nouvelles pièces, depuis 1,000 mètres jusqu'à 6,000 mètres.

Les rainures directrices horizontales étaient supprimées sur le projectile.

L'arrondissement du culot n'avait pas été adopté, mais la pièce avait été légèrement égueulée, ainsi que l'avait proposé M. le major de Chanal dans la commission de 1853.

Ces dernières expériences de Calais furent couronnées par un tir en brèche sur un ouvrage de fortification abandonné. Il fut alors démontré que ces nouveaux

[1] Ouvrage du général Piobert, page 137.

projectiles agissaient sur les maçonneries à l'instar d'une fougasse, c'est-à-dire que, pénétrant et éclatant à la fois, ils formaient une chambre bien autrement formidable que l'entonnoir obtenu par des projectiles sphériques, et qu'on pouvait ainsi, à une distance infiniment plus grande que la distance du tir en brèche ordinaire, faire une brèche praticable avec moitié moins de coups, et par conséquent moitié moins de temps et de sang qu'avec les anciens boulets.

Depuis que l'empereur s'était prononcé, le plus vif enthousiasme avait succédé au doute et même quelquefois à l'ironie. L'empereur envoya au général vicomte de Lahitte le programme d'une pièce ayant le poids et le calibre de l'ancienne pièce de 4, et devant tirer des projectiles pesant 4 kilog. C'était rentrer dans les véritables conditions du nouveau système, car, ainsi que le disait la commission de 1855 dans son rapport.: Le système de l'artillerie rayée a sur celui des armes portatives analogues l'énorme avantage, que son perfectionnement, loin de s'acheter par une augmentation de poids qui rend l'usage de ces dernières d'un succès douteux, s'opère au contraire par un allégement tel qu'on double au moins les effets sans toucher au poids de l'arme.

Une nouvelle commission fut assemblée à La Fère, pour la confection de cette pièce. Le major de Chanal, qui cependant n'avait demandé d'autre récompense que celle d'être attaché à tous les travaux qui se feraient sur le système Tamisier, qu'il avait si heureusement modifié, n'y fut pas appelé, et dut rester à son corps. Plusieurs changements furent encore apportés à la pièce et au projectile, mais aucun n'affecta l'essence même du système, qui resta tel que l'avait proposé la commission de La Fère, et expérimenté avec tant de succès celle de Calais, c'est-à-dire des rainures en hélice, dont la face directrice du tir est inclinée, rainures dans lesquelles entrent des tenons en zinc rapportés d'une manière fixe dans la partie cylindrique du projectile et que la force de l'expansion de la poudre vient ajuster contre le bronze de la pièce. Enfin le projectile a sa partie cylindrique lisse, étant définitivement admis que les rainures horizontales du système Tamisier ne produisaient aucun effet utile.

La commission de Calais avait demandé des études sur la position qu'occupaient les rainures au fond de la pièce; il n'était pas en effet indifférent pour l'équilibre du projectile que celui-ci, au moment de l'expansion des gaz de la poudre, reposât sur un tenon dans sa partie inférieure ou sur deux dans sa partie moyenne. La commission de La Fère, en adoptant six rainures et douze tenons, obvia à cet ordre d'inconvénients. De plus, elle fit rétrécir les rainures vers leur extrémité et l'ailette touchant les deux faces lorsque le projectile est en place, on évita ainsi un choc destructeur qui avait lieu lorsqu'il quitte, au moment de l'explosion, la face directrice du chargement pour s'appuyer sur la face directrice du tir. Ainsi faite la pièce est inusable et le tir encore amélioré.

La commission apporta encore un changement à la forme des tenons. Ceux-ci, dans les pièces de 6, de 16 et de 24, essayées à La Fère et à Calais, étaient carrés. Pour le tir de guerre, cette forme n'avait aucun inconvénient, mais pour le polygone où les projectiles doivent servir plusieurs fois et où par conséquent les vieux tenons doivent être remplacés par des neufs, il n'en est pas de même. En effet, le métal est refoulé dans sa mortaise et il est difficile de l'en arracher sans endommager celle-ci. La commission donna la forme ronde cylindrique à ses tenons; la mortaise peut alors facilement être vidée au moyen d'une mèche anglaise.

Un matériel complet, voitures, affût et caissons, fut exécuté pour les nouvelles pièces, et en 1857, au mois de mai, date qui sera mémorable dans les fastes de l'artillerie, une pièce rayée, tirant des projectiles cylindro-ogivaux à rotation et forcement, avec affût et caissons, fut présentée à l'empereur dans la cour du dépôt central de Saint-Thomas-d'Aquin; le programme tracé par Sa Majesté avait été rempli en moins d'un an. Les journaux nous ont appris qu'elle en avait témoigné sa haute satisfaction en faisant lieutenant-colonel M. le commandant Treuil de Beaulien, et décorant le garde-chef de l'atelier qui avait travaillé sous la direction de cet officier supérieur. Une feuille même a prétendu que le nouveau matériel devait s'appeler *le matériel Lahitte*, du nom du président du comité, destiné ainsi à continuer la série des noms historiques de Vallière, Gribeauval et Valée.

BOULETS PERCUTANTS. — Toutes les fois qu'un projectile allongé se meut avec une rotation autour de son grand axe, qu'il atteint le but la pointe en avant, il est possible d'en faire un projectile percutant qui fait explosion en atteignant l'obstacle contre lequel il est lancé. C'est surtout au point de vue de la guerre maritime que ces projectiles ont été essayés; on comprend l'effet destructeur d'un projectile creux qui ferait explosion au moment où il traverse la paroi d'un vaisseau; il pourrait causer des dommages tels que le plus puissant navire serait mis hors de combat par un seul coup de canon, et que par suite la lutte d'une canonnière portant quelques pièces contre un navire de cent canons devienne presque égale.

M. Devisme, armurier de Paris, a proposé dans ces derniers temps une disposition de ce genre pour des projectiles creux qu'on peut lancer avec ses grosses carabines. Nous donnerons une idée du système qui lui a réussi malgré la difficulté de loger le système percutant dans un projectile de petit volume (c'est toujours à des dispositions analogues à celles que nous allons décrire que reviennent celles adoptées); mais, répétons-le, elles ne sont possibles qu'autant qu'on résout d'abord complétement le problème de donner au projectile allongé une rotation autour de son axe.

Dans l'axe du projectile on dispose une broche en fer d'un certain poids, qui est maintenue à frottement doux dans deux collets faisant partie du projectile et dans lesquels elle peut glisser par un choc brusque exercé dans le sens de la longueur. Ce choc sera l'effet produit par la rencontre du but, et par son inertie la broche exercera un effort considérable et continuera son mouvement. Si donc on a disposé une capsule, une amorce fulminante, placée sur une partie solide, devant cette broche, celle-ci viendra percuter l'amorce et déterminer l'explosion de la poudre en contact avec elle.

Pour éviter les dangers auxquels pourrait exposer le maniement de semblables projectiles, on a adopté dans la marine un fil de plomb pour maintenir la broche. Ce fil est assez fort pour résister à une chute du projectile de 9 mètres de hauteur sur le pavé, ce qui met à l'abri de tout accident, sans que l'explosion manque jamais quand le boulet atteint le but.

Il n'y a pas de danger que cet effet ait lieu au départ, puisque la broche résiste par son inertie et s'éloigne autant que possible de la capsule, mais il n'en serait pas de même hors de la bouche à feu, si une rotation suivant l'axe de la broche n'existait pas seule. L'effet, en arrivant au but, serait également manqué pour tous les cas nombreux où le choc ne tendrait pas à produire l'effet de percussion suivant l'axe.

Tout ceci justifie pleinement notre observation première et montre que la solution du problème des projectiles percutants n'est qu'une conséquence de celui des projectiles tournants autour d'un axe de figure déterminée, autour de leur grand axe, puisqu'il est avantageux pour la portée de leur donner une forme allongée.

BOUSSOLE. Nous avons déjà parlé de la boussole dans ses applications au levé des plans où la direction constante qu'elle fournit facilite beaucoup le travail, pour le levé des mines souterraines notamment, et de son emploi pour la navigation où cette propriété d'indiquer la direction est si précieuse. Nous représentons fig. 3437 la disposition que l'on donne sur les navires



3437.

à la boussole. Elle offre ceci de particulier que, par l'effet d'une double suspension à angle droit des deux cercles qui la portent, d'un joint de Cardan, les mouvements du navire sont annulés, qu'elle reste horizontale et son axe vertical, qu'il ne se produit pas de frottements qui empêchent l'aiguille de conserver sa véritable direction.

La boussole se dirige vers le sud avec une intensité qui est en raison de la force du magnétisme terrestre, la terre agissant tout à fait comme le ferait un barreau aimanté. Elle peut donc servir à déterminer la composante horizontale du magnétisme en un lieu donné. A l'aide de la boussole dite *d'inclinaison* on peut, de même, en chaque lieu, déterminer la direction de la composante verticale. Elle se compose d'une aiguille aimantée traversée en son centre de gravité par un axe cylindrique en acier poli qui repose par ses deux extrémités sur des couteaux d'agate très-fine. Un cercle gradué, ayant même centre que la boussole, donne l'inclinaison du lieu comme la boussole horizontale donne la déclinaison avec le méridien du lieu; seulement la première doit avoir son centre de gravité dans le méridien magnétique du lieu, déterminé à l'aide de la boussole horizontale.

On a dû souvent se demander pourquoi la boussole marine, le compas, comme l'appellent les marins, était formée d'une aiguille portant une chape par laquelle elle repose sur une pointe, et par suite était établie de manière à être à la mer dans un état perpétuel d'agitation fort préjudiciable aux observations.

M. Keller a indiqué l'origine de cette disposition traditionnelle dans l'emploi fait autrefois de la boussole pour déterminer les situations lunaires (méthode abandonnée à tort pour étudier les courants de marée), ce qui exigeait que l'axe de la boussole fût placé parallèlement à l'axe du monde, à ce que leur plan devînt un plan équatorial.

A partir du moment où cette méthode fut vouée à l'oubli, on ne comprend pas, dit le savant ingénieur, que la tradition des roses ballottantes ait pu lui survivre, en présence des graves inconvénients qu'elles offrent aux navigateurs par leurs mouvements perpétuels. Cependant, rien n'était plus facile que de supprimer ces oscillations imprimées à la rose du compas par les mouvements incessants du navire. En effet, dès que la mobilité de la rose en tous sens n'était plus nécessaire, on était certain d'anéantir ses ballottements verticaux en maintenant son axe entre deux chapes fixes superposées. Par ce moyen, le plan de la rose étant devenu horizontal, il devenait inutile de contre-balancer l'effet de l'inclinaison magnétique par un poids placé sur la branche sud de l'aiguille aimantée. Or la position excentrique de ce contre-poids et son inertie l'empêchant de participer immédiatement aux changements de vitesse du centre de suspension entraîné par les mouvements du navire, évidemment ce contre-poids est la cause principale de l'agitation de la rose. Sa suppression assurerait la stabilité de la rose en même temps qu'elle dispenserait de la nécessité de déplacer le contre-poids sur la même branche de l'aiguille, d'une latitude à l'autre dans le même hémisphère, et d'une branche à l'autre en changeant d'hémisphère : or, pour réaliser ces avantages, il suffirait que l'axe de suspension de l'aiguille aimantée passât par son centre de gravité déterminé avant l'aimantation, comme pour les aiguilles d'inclinaison. Il ne resterait plus alors qu'à opposer un frottement à l'action de l'inclinaison magnétique pour l'empêcher d'agir sur la rose quand (le navire donnant de la bande) elle se trouve écartée notablement du plan horizontal malgré la suspension à la *Cardan*; or ce frottement efficace pourrait être déterminé par un petit ressort maintenu par le poids de la rose, quand son axe est vertical, et qui entrerait en jeu lorsque, cet axe s'inclinant, le poids de la rose pèserait moins sur les ressorts que sur les colliers de l'axe. Dans ces conditions, le compas ne fonctionnant que dans le plan horizontal, sa rose serait exempte de toute oscillation accidentelle.

BRIQUES CREUSES. Une heureuse idée, reposant sur une extension des moyens d'agir sur les matières plastiques, est venue donner naissance à une importante industrie. Voici ce que dit, à cet égard, le rapporteur du Jury de la quatorzième classe, qui, à l'exposition universelle de 1855, a décerné à son auteur, M. Borie, la médaille d'honneur :

« On éprouvait depuis longtemps le besoin de matériaux en même temps solides, légers et susceptibles, par leur forme et par la disposition de leurs pleins et de leurs vides, de se juxtaposer et de se superposer convenablement et facilement, de se lier avec le moins possible de mortier ou de plâtre, de s'opposer à la propagation de l'humidité du sol, du froid ou du chaud extérieurs, des sons d'une localité à une autre, etc., c'est à quoi satisfont parfaitement et complétement les matériaux tubulaires ou briques creuses de M. Borie. Leurs dimensions variées sont convenablement appropriées aux différents besoins des constructions et judicieusement déterminées en fractions du système décimal. La terre en est bien choisie et habilement mise en œuvre à l'aide d'une machine ingénieuse et susceptible d'être appliquée à la fabrication des tuyaux de drainage et d'un grand nombre d'autres produits.

« Les briques creuses sont donc des matériaux en même temps nouveaux, habilement établis, parfaitement appropriés aux besoins des constructions de toutes sortes : ils sont, de plus, favorables à la solidité, à la commodité, à la salubrité des habitations; enfin ils donnent lieu à des exportations assez considérables en divers pays. »

Il existe plusieurs espèces de briques creuses : les briques à grandes, à moyennes et à petites cavités; ces dernières sont généralement préférées, car elles sont plus légères pour une même résistance, et n'admettent le mortier dans leur intérieur qu'en très-petites quantités. Quant aux formes et aux dimensions, il est facile de les modifier suivant les usages locaux et le besoin des circonstances; toutefois on gagne à ne pas trop s'éloigner, sous ce double rapport, des types

admis généralement pour les briques pleines. Il ne faut pas perdre de vue, d'une part, que des formes compliquées, quoique d'une exécution relativement peu coûteuse, sont, en définitive, rarement pratiques; d'autre part, que rien n'est plus difficile que de faire sécher et cuire, sans non-valeurs nombreuses, de gros volumes de terre, tandis que les produits de petit échantillon supportent l'action de l'air et du feu sans pertes et presque sans aucun soin.

Les briques tubulaires étant un produit nouveau, il ne sera peut-être pas sans intérêt de mentionner quelques-unes des circonstances qui ont, en quelque sorte, favorisé leur introduction dans l'industrie du bâtiment. Les détails qui suivent, et que nous empruntons au *Bulletin de l'industrie minérale*, ont trait à une série d'expériences en grand faites à Paris, au mois de septembre 1852, par M. Eugène Flachat, ingénieur du chemin de fer de l'Ouest, avant de procéder à la construction en briques creuses des 8,000 mètres carrés environ d'arceaux surbaissés qui, aujourd'hui, soutiennent les salles d'attente de la gare de ce chemin.

Le projet était de faire pénétrer les voitures chargées de voyageurs dans la plus grande de ces salles, qui occupent toutes le premier étage de l'édifice, et c'est à cette considération, autant qu'à celle de la hardiesse du plan adopté, que sont dus les essais que nous allons relater.

Les arceaux appuient leur naissance à de fortes sablières de fonte supportées par des colonnes également en fonte; ils ont 5 mètres de portée, 0m,50 de flèche et 0m,22 d'épaisseur seulement. Cette épaisseur se compose de deux anneaux concentriques de briques doubles à seize cavités. Leurs longueurs, suivant les génératrices, sont variables.

Les essais eurent lieu sur deux fragments d'arceaux formés d'une double brique, chacun de 2 mètres de génératrice, et se trouvant, d'ailleurs, dans des conditions de portée, de flèche et d'épaisseur, identiques avec celles qui viennent d'être indiquées. Pour l'un des arceaux on se servit de plâtre; pour l'autre, de mortier ordinaire. Ils étaient construits depuis moins d'une semaine lorsque les expériences commencèrent. Les briques offraient l'apparence d'une cuisson médiocre.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Arceau à joints de plâtre.

Charges.	Fléchissement.
27,000 kilog.	0m,025

Arceau à joints de mortier.

Charges.	Fléchissement.
30,000 kilog.	0m,014

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Les arceaux furent déchargés. On enleva à chacun d'eux son anneau supérieur de briques, et désormais l'on opéra sur l'anneau inférieur épais de 0m,11.

Arceau à joints de plâtre.

Charges.	Fléchissement.
3,100 kilog.	0m,002
6,000 —	0m,004
10,000 —	0m,009
15,000 —	0m,017
20,000 —	0m,03

On transporta alors la charge entière sur l'un des côtés de l'arceau, qui, néanmoins, ne fit aucun mouvement. Enfin, la charge ayant été portée à 25,000 kilog., l'autre moitié de l'arceau se souleva et produisit écroulement.

Arceau à joints de mortier.

Charges.	Fléchissement.
5,000 kilog.	0m,005
9,500 —	0m,009
15,000 —	0m,015

La charge ayant été, comme précédemment, portée sur l'un des reins et augmentée, l'arceau tomba sous 17,800 kilog.

Ces chiffres de résistance ayant paru plus que satisfaisants, on procéda de suite aux travaux qui avaient motivé les essais.

Pendant plusieurs mois, la grande salle d'attente a reçu, en effet, toutes sortes de voitures chargées de voyageurs. Aujourd'hui les piétons seulement y sont admis, afin d'éviter le renouvellement des accidents auxquels l'encombrement des véhicules mêlés à la foule avait donné lieu.

Ces faits parlent en faveur des briques creuses et démontrent suffisamment leur résistance à l'écrasement. Quant à leur légèreté, si précieuse dans le cas des cloisons, murs, voûtes, que l'on est souvent obligé de construire en porte-à-faux, et dans celui des exhaussements de maisons, voici un exemple du parti qu'on en peut tirer; il s'agit d'un fait qui s'est passé à Paris, à l'occasion du pont de l'Alma. Ce pont, qui franchit la Seine sur trois arches de pierre à grande portée, subit, aussitôt achevé, un affaissement notable qui donna des craintes sérieuses sur sa solidité. On se hâta d'enlever la chaussée dont il était déjà recouvert, de décharger ses tympans, de consolider celui des piliers qui était la cause du mouvement produit, et aux matériaux employés pour porter la chaussée d'un tympan à l'autre on substitua des briques creuses disposées en arceaux minces. De la sorte, le pont se trouve allégé d'un poids considérable (300,000 kilog. environ), et depuis ce moment il est livré à la circulation.

En résumé, les briques creuses sont aujourd'hui recherchées par les architectes et les entrepreneurs, et, si elles ont leur place marquée dans les constructions, elles la doivent non-seulement à leur légèreté et à la modicité de leur prix de revient, mais encore à diverses propriétés révélées par la pratique, et que les briques pleines ne possèdent pas au même degré. Ces propriétés sont : une résistance plus considérable à la rupture et aux agents atmosphériques; une liaison plus intime des maçonneries; une inconductibilité de la chaleur plus prononcée; un isolement plus complet de l'humidité. Déjà, dans le nord de l'Europe, il existe plusieurs établissements qui se livrent actuellement à cette fabrication; il y en a également en Italie, en Espagne, dans l'Amérique du Sud, les Indes et l'Australie. En 1854, le gouvernement a donné l'an des premiers l'exemple, en envoyant de Paris aux colonies françaises non-seulement des quantités importantes de briques creuses pour servir à l'édification de plusieurs monuments importants tels que casernes et hôpitaux, mais encore des machines à mouler, destinées à encourager sur les lieux la fabrication de ces nouveaux et utiles matériaux de construction.

Fabrication. — La fabrication des briques creuses n'est pas aussi simple que celle des briques pleines; elle exige un matériel complet pour le malaxage des terres, le moulage, l'étendage et la cuisson.

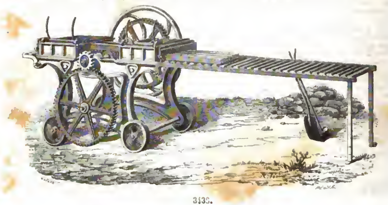
La composition chimique des terres variant non-seulement dans un même pays, mais encore dans une même localité, il n'est possible de fournir que quelques données générales sur le choix qu'on en doit faire pour telle ou telle application. A l'égard des briques creuses non réfractaires, toutes les argiles sont bonnes, pourvu, toutefois, que la proportion d'alumine soit à peu près normale, car c'est à la présence de ce corps que la plasticité et le retrait des terres sont dus. Un retrait de 1/8 environ sur les dimensions entre une brique sortant du moulage et cette même brique sèche et prête à mettre au four, indique que le mélange argileux est en proportions convenables. Si le retrait est sensiblement moindre, le mélange ne possède pas toute la plasticité voulue et se moule imparfaitement; on rectifie alors ce

défaut soit par une addition d'argile plus liante, soit en éliminant, à l'aide d'un lavage, l'excès des matières siliceuses. Si le retrait est, au contraire, plus prononcé, les produits courent le risque de se fissurer à la dessiccation et à la cuisson ; dans ce cas, on diminue la plasticité de la terre à l'aide de sable, de craie pulvérisée, de terre ou autres matières inertes. Il existe des argiles, celles de Paris, par exemple, qui absorbent utilement jusqu'à 40 pour 100 de sable fin. Celles qu'on met en œuvre à l'usine de la rue de la Muette, viennent des plaines d'Ivry et de Chantilly ; la proportion de sable qu'on y ajoute est de 33 pour 100.

L'argile ayant été réduite à un état de division convenable soit par des cylindres lamineurs, soit au moyen de couteaux mécaniques, on la livre au malaxeur, en y ajoutant le sable qui doit servir au mélange. Le malaxeur est un cylindre de bois ou de métal dans lequel tourne un arbre vertical armé de couteaux, qui produisent le mélange intime des matières. (Voyez MORTIER.) Un orifice placé à la base du cylindre livre passage à une traînée continue de terre malaxée que l'on divise en lopins, et qui se trouve ainsi parfaitement préparée pour subir l'opération du moulage.

La machine à mouler, que représentent les figures 3438 et 3439 se compose d'un double piston mis en mouvement par des engrenages, et qui accomplit un mouvement horizontal de va-et-vient dans les intérieurs de deux caisses prismatiques en fonte, placées sur un bâti et s'ouvrant, par le haut, au moyen de forts couvercles à charnières. Chaque caisse porte, à son extrémité antérieure, une filière derrière laquelle est placé un crible épurateur. Une table couverte de rouleaux enveloppés de drap grossier, fait suite à chaque filière ; elle est munie d'un châssis mobile, sur lequel sont tendus des fils de fer distancés entre eux de la longueur d'une brique et faisant fonction de couteaux.

L'ouvrier principal remplit l'une des caisses de la machine avec les lopins de terre sortant du malaxeur ; il rabat le couvercle, le fixe invariablement à l'aide d'un levier à came d'une grande solidité, et la machine est mise en jeu. Sous l'effort du piston, la terre argileuse passe au travers du crible, qui intercepte au passage tous les corps étrangers d'un diamètre au-dessus de 0m,005 ; puis elle traverse la filière qui la moule et la laisse sortir sous la forme de plusieurs bandes prismatiques, qui glissent parallèlement sur les rouleaux de la table. La sortie effectuée, on rabat le châssis dont les fils de fer découpent des briques, qui sont immédiatement enlevées et portées au séchoir. Pendant cette manœuvre, qui dure une minute environ, l'ouvrier a eu le temps de charger la seconde caisse ; le piston, arrivé au bout de sa course, revient alors au point de départ, sous l'impulsion inverse de la machine, et le même travail s'accomplit au travers de l'autre filière : l'opération peut donc ainsi se poursuivre indéfiniment.



3438.

3439.

3440. 3441.

Le crible au travers duquel la terre est obligée de passer retenant toutes les impuretés, telles que graviers, racines, etc., empâtées dans la terre argileuse, le piston ne peut jamais s'en approcher qu'à une distance d'environ 0m,03. Lorsque cet espace est rempli par les impuretés, l'ouvrier opère le nettoyage à l'aide de la truelle.

Plusieurs appareils de ce genre fonctionnent à l'usine de M. Borie ; ils sont mus par une machine à vapeur qui commande en même temps les couteaux à découper l'argile, les malaxeurs, ainsi que plusieurs monte-charges emportant les briques à l'étage supérieur, où sont déposés une partie des séchoirs.

Chaque machine à mouler fournit, par journée de travail, 6 à 7,000 briques ; elle n'en produit que 4 à 5,000 lorsqu'elle est mue à bras. Dans le premier cas, elle est desservie par quatre hommes ; dans le second, trois suffisent.

Séchage et cuisson. — Les briques creuses, on le comprend, doivent sécher plus rapidement que les briques pleines. Le séchage est effectué sur des rayons mobiles; ce sont des planchettes longues de 1 mètre chacune, pouvant recevoir dix briques posées sur champ, et que les ouvriers transportent sans effort.

Quant à la cuisson, elle ne présente rien de particulier; elle s'opère dans des fours prismatiques accolés et marchant alternativement. Ici, comme partout, la difficulté consiste à répartir la chaleur d'une manière égale dans toute la masse des briques et à économiser le combustible.

Prix de revient. — Comparé au prix de revient des briques pleines de même qualité et fabriquées aux mêmes lieux et dans les mêmes circonstances, le prix de revient des briques tubulaires est notablement inférieur. Voici quels sont les éléments divers qui composent ce prix de revient :

1° Les matières premières : terre et sable ;

2° La préparation du mélange ou malaxage ;

3° Le moulage ;

4° Le séchage pendant lequel les briques doivent être retournées ;

5° L'enfournement et le défournement ;

6° La cuisson : temps et combustible ;

7° Le transport à pied d'œuvre ;

8° Le déchet ;

9° Les frais généraux.

Or, en fait d'économies, on peut compter :

50 pour 100 sur les matières premières et leur préparation ; en effet, la somme des vides étant sensiblement égale à celle des pleins, il faut, pour un certain nombre de briques creuses, moitié moins de matières premières que pour le même nombre de briques pleines ;

50 pour 100 sur le temps du séchage ;

10 pour 100 sur la main-d'œuvre du moulage ;

25 à 30 pour 100 sur le temps et sur le combustible ;

40 pour 100 sur le transport, car le poids des briques creuses est presque moitié de celui des briques pleines de même qualité et de mêmes dimensions.

En résumé, voilà différentes économies qui portent sur presque tous les éléments du prix de revient, et qui se traduisent par une moyenne générale variant dans les limites de 25 à 30 pour 100.

BROCHE DE FILATURE. La filature, amenée depuis le commencement du siècle à un si admirable degré de perfection, reçoit depuis quelques années des améliorations d'une importance inespérée, soit par l'addition de machines auxiliaires destinées à rendre plus complet le classement des matières premières, telle est la remarquable peigneuse de Heilmann, dont nous parlons ci-après, soit par des améliorations apportées à quelques parties du mécanisme des métiers à filer.

C'est dans cette classe qu'il faut ranger la broche de l'invention de M. F. Durand, sur laquelle M. Alcan a fait un excellent rapport à la Société d'encouragement, dans lequel il fait apprécier les imperfections de la filature actuelle et montre comment la nouvelle invention y remédie.

« Deux systèmes de métiers à filer, dit-il, sont seuls en possession, comme on le sait, du vaste domaine de la filature. Quelle que soit la substance à transformer, elle est soumise soit au système connu chez nous sous le nom de *continu* et de *throstle* en Angleterre, soit au métier mull-jenny. Malgré les mérites relatifs et incontestés de ces deux systèmes, ni l'un ni l'autre ne satisfait entièrement aux exigences rationnelles de l'industrie. Le continu, séduisant par la simplicité des combinaisons mécaniques, la simultanéité d'action des différentes fonctions du filage (l'étirage, la torsion et le renvidage), présente des inconvénients graves. L'ailette qui dirige le fil pendant la torsion, libre à l'une de ses extrémités, est soumise à des vibrations telles que la vitesse qui les produit ne peut dépasser une certaine limite sans énerver le fil et en occasionner la rupture. La marche de l'organe renvideur (de la bobine) est moins bien assurée encore ; les couches concentriques sont produites par une différence de vitesse entre la bobine et la broche ; cette différence est obtenue par un ralentissement d'action résultant du l'embase inférieure de la bobine enfilée librement sur la broche, et une saillie de celle-ci ; c'est-à-dire que la bobine et la broche ont la même commande et fourniraient le même développement dans l'unité de temps, si l'action de la bobine n'était libre autour de la broche et influencée par une cause retardatrice pendant le mouvement. Cette cause est 1° le frottement, toujours insuffisant, de l'embase ; 2° celui d'un petit poids fixé par une ficelle à cette embase pour produire la quantité de frottement nécessaire. Il suffit de signaler ce mode d'action pour faire comprendre ce qu'il a de peu précis comme moyen de réglement au point de départ, et d'irrégulier dans sa marche. En effet, si au commencement du renvidage l'action retardatrice est insuffisante, le fil flottera, les couches seront molles ; non-seulement la bobine sera trop vite pleine, mais elle s'éboulera au dévidage ultérieur et occasionnera du déchet ; si, au contraire, on est arrivé à un frottement convenable, par le tâtonnement, au commencement du renvidage, il faut pouvoir l'augmenter graduellement et en raison directe de l'accroissement du diamètre de la bobine, ce qui est pratiquement impossible.

Ces circonstances, jointes au mouvement vertical de va-et-vient du chariot porte-bobines, destiné à la distribution des couches concentriques sur toute la hauteur de l'enroulement, occasionnent la consommation d'une quantité de force motrice relativement considérable. C'est à la réunion de ces différentes causes qu'il faut attribuer l'usage restreint du système continu et la difficulté d'y produire, avec avantage, un fil dont la finesse dépasse le n° 40 métrique, c'est-à-dire 40 kilomètres par 500 grammes.

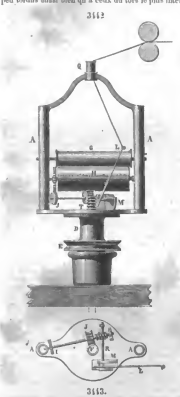
On obtient du mull-jenny des résultats bien supérieurs, puisqu'il fournit couramment, dans le filage du coton par exemple, du n° 200 métrique. Aussi l'a-t-on proclamé le système par excellence ; il est néanmoins l'objet des recherches les plus actives et des améliorations de tous les jours, qui indiquent suffisamment qu'il n'a pas atteint toute sa perfection. Il diffère surtout du précédent par l'absence d'un appareil renvideur spécial. La broche remplit alternativement les fonctions d'organe tordeur et renvideur, et souvent même elle fournit un supplément d'étirage. La simultanéité n'est donc pas possible pour les différentes fonctions qui constituent le filage. Le renvidage ne peut avoir lieu qu'après la torsion, et, comme celle-ci doit s'exercer sur la préparation convenablement tendue, les broches sont obligées de s'éloigner des cylindres étireurs pendant le temps que ceux-ci leur fournissent le fil ébauché ; cette translation a lieu avec une accélération susceptible de produire un certain allongement. A la limite de sa course, le chariot et les cylindres étireurs s'arrêtent, l'étirage cesse et la rotation des broches est, au contraire, continuée pendant un certain temps encore pour terminer la torsion. Celle-ci opérée, le chariot porte-broches revient sur ses pas pour cueillir ou renvider les fils par la continuation du mouvement des broches.

La nécessité de suspendre et de rendre le mouvement aux cylindres et au chariot à des intervalles déterminés, d'imprimer simultanément une vitesse de rotation et de translation de va-et-vient à un nombre de broches qui peut varier de 300 à 600 par métier, sont des causes premières de complications, qui augmentent encore par les conditions de variations de

vitesse imposées aux commandes. En effet, pour opérer graduellement le tirage et la torsion et réserver le plus d'élasticité possible à la matière, la vitesse des broches et des cylindres est augmentée du double environ pendant chaque course ou production des aiguillées. Les avantages du mull-jenny sont donc contrebalancés par l'intermittence dans la production, par la nécessité d'un emplacement considérable, par une complication extraordinaire dans les transmissions, surtout si le métier est entièrement self-acting, et enfin par les difficultés de règlement et de conduite qui exigent des soins particuliers, et de l'habileté chez les ouvriers.

Le métier imaginé par M. Durand réunit, selon nous, la simplicité et l'économie du système continu à la perfection du mull-jenny parfaitement réglé. Ce nouveau système, entièrement automatique, est applicable à toute espèce de matières et de genres de fils, quelles que soient les finesses, depuis les numéros les plus bas jusqu'aux plus élevés en trame un en chaîne, aux fils peu tordus aussi bien qu'à ceux du tors le plus intense.

3442



3443.

Le règlement de la machine a lieu avec une précision telle, qu'une fois alimentée par une préparation convenable il n'y a plus d'exemple de rupture. L'étirage ayant lieu ici par les cylindres d'Arkwright, comme pour tous les procédés en usage, nous n'avons qu'à décrire une broche pour faire comprendre le système.

Cette broche se compose d'une sorte d'étrier vertical fermé de toutes parts; une tige fixe traverse le milieu de la base de cet étrier. L'extrémité supérieure de cette tige, qui dépasse la base, à l'intérieur, de 15 millimètres environ, est filetée en vis sans fin; elle porte du côté opposé, au-dessous de l'étrier, une douille sur laquelle est adaptée une noix à gorge pour recevoir la corde destinée à mettre l'étrier en mouvement (fig. 3442 et 3443).

La bobine porte-fil est placée à l'intérieur de l'ailette fermée, dans un plan horizontal, ayant par conséquent son axe perpendiculaire à la direction du mouvement de l'étrier. Les tourillons de cette bobine sont soumis, chacun, à l'action d'un ressort placé dans une rainure verticale pratiquée dans les montants ou côtés latéraux de l'ailette fermée. Ces tourillons et leur bobine peuvent ainsi se déplacer, parallèlement à leur direction, sous l'influence d'une pression. Le mouvement circulaire de la bobine autour de son axe, pour opérer le renvidage en couches concentriques, est imprimé par la pression tangentielle d'un cylindre cannelé qui lui est parallèle; les axes de la bobine et de ce cylindre sont dans le même plan vertical. Une petite roue droite, placée sur un des tourillons du cylindre de commande, reçoit son mouvement d'une autre roue placée sur un petit arbre, commandé lui-même par la partie de la vis sans fin de la tige fixe, qui engrène avec un pignon convenablement placé sur ce petit arbre, du côté opposé à celui de la transmission dont il vient d'être question. Enfin la distribution du fil en spires régulières sur la longueur de la bobine est obtenue au moyen d'un guide-fil à mouvement de va-et-vient vertical, réalisé par un petit excentrique, dont l'axe est mû également par l'arbre de commande du cylindre enrouleur, au moyen d'une petite vis sans fin qui engrène avec une roue à dents inclinées placée sur l'axe de l'excentrique.

On voit le but qu'on a cherché à atteindre, l'idée qui a présidé à la combinaison de cette broche. Le double mouvement de l'envideur et du distributeur gravite autour d'une tige fixe pendant la rotation de la broche. Ainsi, pendant que celle-ci est animée d'un mouvement rotatif vertical qui peut s'élever à 4,500 tours à la minute, suivant le degré de torsion que l'on veut obtenir, cette rotation se transmet, dans un rapport ralenti, 1° à la bobine d'envidage qui tourne horizontalement; 2° au distributeur du fil de la bobine, par un mouvement de va-et-vient vertical.

Dans la disposition fondamentale qui vient d'être décrite, la tige fixe, centre de gravitation du système de la broche, porte avec elle son mouvement différentiel et l'organe qui remplit les fonctions du chariot; mais on peut, pour certains cas, s'il s'agit de l'appliquer à des préparations qui n'ont besoin que d'une légère torsion, rendre cette tige libre et la munir d'un pignon à sa partie inférieure. Un seul arbre commande, dans ce cas, une rangée de broches et établit le mouvement différentiel voulu entre ces broches et leurs bobines, ce qui, jusqu'ici, n'a pu se pratiquer aussi aisément.

Apprécié *à priori*, le métier de M. François Durand présente les avantages suivants : 1° simultanéité des fonctions du filage; 2° grande simplicité de combinaison et économie d'espace; 3° perfection égale pour les fils de différentes finesses; 4° suppression des inconvénients de la force centrifuge; 5° précision de renvidage pendant toute la période du travail; 6° régularité de torsion; 7° économie de dépenses, puisqu'il ne consomme que la force motrice exactement nécessaire au travail.

Mais une appréciation théorique et basée sur un examen réitéré pouvait être mise en défaut par un usage prolongé; nous nous sommes livrés en conséquence à une espèce d'enquête auprès des nombreux et ho-

biles industriels qui ont vu fonctionner le système nouveau. Tous se sont accordés à reconnaître l'excellence du fil; aucun n'a trouvé une objection sérieuse contre l'emploi du métier, la plupart en ont été si frappés qu'ils en ont fait des commandes pour les expérimenter en grand dans leurs établissements.

BRONZE. Nous compléterons ici l'article Bronze par quelques considérations sur la composition et le moulage, que nous empruntons à M. A. Gruyer, chimiste-ingénieur attaché à l'ancien institut agronomique de Versailles. Il a publié, dans la *Revue des Deux Mondes* du 1er janvier 1856, un article intéressant sur ce sujet, dont nous extrayons ce qui suit :

On comprend généralement, dit l'auteur, sous le nom de *bronze* ou d'*airain*, un alliage de cuivre ou d'étain. Cependant cette définition n'est guère exacte que pour le composé destiné aux bouches à feu; car le bronze, dans les autres applications, notamment dans la fabrication des objets d'art, est un alliage quaternaire, contenant à la fois du cuivre, de l'étain, du zinc et du plomb. Le bronze est toujours plus dur et plus flexible que le cuivre; d'autant plus cassant qu'il contient plus d'étain, la trempe le rend alors plus parfaitement malléable. La densité du bronze est supérieure à la densité moyenne des métaux qui le composent : il s'oxyde lentement, même à l'air humide; néanmoins, fondu au contact de l'air, il s'oxyde alors facilement, et l'oxydation de l'étain et du zinc marchant plus vite que celle du cuivre, l'alliage qui reste perd ses proportions primitives.

La dureté remarquable du bronze, la finesse de son grain, la résistance de cet alliage à l'action oxydante de l'air humide, la fusibilité et la fluidité qui le rendent capable de prendre l'empreinte des moules les plus délicats le désignaient naturellement à la fabrication des objets d'art.

En général, le bronze destiné à l'art statuaire doit être assez fluide lors de sa fonte pour pénétrer facilement dans les cavités les plus délicates du moule; il doit présenter une couleur convenable et pouvoir prendre une belle *patine* par l'application d'un mordant; il faut enfin qu'il soit docile au travail de la lime et du ciseau. Malheureusement on ne trouve pas sans peine un alliage remplissant toutes ces conditions. Le bronze, exclusivement composé de cuivre et d'étain, est dur et tenace, mais ne jouit pas, à la fonte, d'une très-grande fluidité. Si l'on substitue le zinc à l'étain, on a un alliage très-fluide, mais dont la ténacité n'est pas suffisante, et qui, de plus, est facilement oxydable. Le mieux sera donc de former un alliage intermédiaire contenant du cuivre, de l'étain et du zinc. En tout cas, on ne saurait apporter trop de soins à la composition de ces alliages.

Si la composition de l'alliage est d'une grande importance, la fonte est une opération également délicate. Pour donner de bons résultats, elle doit être rapide, afin d'éviter les pertes d'étain, de zinc et de plomb, car ces métaux étant plus facilement oxydables que le cuivre, les proportions de l'alliage se trouvent souvent dérangées pendant cette opération. Ainsi, lorsqu'on coule le bronze, il arrive souvent qu'il n'a plus la fluidité suffisante et qu'il se refuse à sortir du fourneau : c'est qu'il ne contient plus la quantité d'étain et de zinc nécessaire, et qu'il est déjà trop riche en cuivre; il est ce que les Florentins appelaient *incantato*.

Un autre phénomène remarquablement lié aux propriétés les plus importantes du bronze dépend du partage qui s'établit par le refroidissement dans la masse de cet alliage. En effet, une portion du cuivre et de l'étain forme d'abord un alliage qui se solidifie, tandis qu'une autre portion de ces deux métaux constitue un second alliage qui reste liquide encore pendant quelque temps. Dès que le refroidissement commence, l'alliage le moins fusible cristallise, et la masse prend du retrait; alors l'alliage liquide, pressé par la colonne métallique, s'écoule dans l'espace vide qui s'est formé à la circonférence et dans le haut du moule. De là, un partage qui s'établit de telle sorte qu'au centre de la masse se trouve l'alliage le plus riche en cuivre, tandis qu'à la périphérie vient se placer celui qui contient le maximum d'étain. Ce phénomène est celui de la *liquation*. Tant que l'alliage est liquide, il est homogène; mais il y a dans la masse un mélange de plusieurs alliages, doués de points de fusion différents et pouvant se solidifier les uns après les autres. Cela nous montre qu'il est impossible d'obtenir de grandes pièces d'une composition bien homogène, et qu'il y a toujours intérêt à fractionner le plus possible la fonte d'un monument. C'est à ce phénomène de liquation qu'il faut attribuer la quantité innombrable de petits trous que l'on remarque à la surface de la plupart des bronzes anciens. La partie de l'alliage la plus riche en étain étant venue se déposer à la surface, elle est facilement oxydée et détruite sous la double influence de l'air et de l'humidité. De là cet aspect poreux qu'ont une grande quantité de bronzes antiques.

Quant aux procédés de moulage, ils sont très-compliqués. Un bon moulage doit reproduire le modèle sans en altérer ni la forme ni le sentiment; il doit donner à chaque partie l'épaisseur minimum qui lui convient; il doit être tel enfin que l'objet sorte du moule avec la perfection presque définitive. La question économique, qui domine toutes les industries, veut, en effet, qu'on épargne en même temps le métal et la main-d'œuvre.

Nous manquons de détails précis sur les procédés de moulage des anciens. Pline et les écrivains grecs ou latins, qui nous ont transmis le catalogue des plus beaux bronzes de l'antiquité, ne nous disent rien sur le mode de fabrication. Nous savons seulement qu'il était très-perfectionné, et les monuments sont là pour témoigner en faveur de la haute intelligence des fondeurs anciens. On croit que les anciens faisaient leurs moules avec de l'argile mêlée de fleur de farine, et nous avons la preuve que, loin de chercher à fondre leurs statues d'un seul jet, ils s'attachaient, au contraire, à fractionner le travail. Ainsi ils composaient leurs figures de plusieurs pièces, qu'ils réunissaient ensuite par des soudures et des attaches en queue d'aronde. En opérant de la sorte, les anciens se mettaient à l'abri des fontes manquées et du défaut d'homogénéité que nous signalions tout à l'heure en parlant du phénomène de liquation. Enfin l'immense quantité de statues de bronze qui peuplaient les villes grecques et romaines atteste la perfection et la rapidité des procédés dont disposaient autrefois les artistes et les fondeurs. Toutefois les anciens payaient fort cher les statues de bronze, et le prix qu'ils en donnaient paraîtrait, de nos jours, fort exagéré.

Depuis la renaissance jusqu'à nos jours, le moulage en cire perdue a été presque exclusivement employé, et nous lui devons les monuments du XIVe au XVIIIe siècle; mais ce procédé est abandonné maintenant, ou n'est plus employé que par exception. Il exigeait des frais énormes, un temps considérable, et il était, en outre, soumis à des chances de non-réussite que l'industrie moderne ne peut plus courir; enfin il demandait l'intervention directe de l'artiste. Voici quelles sont les diverses phases de cette opération compliquée. Il fallait, pour une statue, par exemple, faire sur le modèle un moule en plâtre, le garnir d'une couche de cire égale à l'épaisseur que devait avoir le bronze, construire dans la cavité du moule une armature formée de pièces de fer capables de soutenir le noyau, y couler ce noyau auquel allaient adhérer les cires, répa-

rer les cires (travail qui ne pouvait être confié qu'à l'artiste lui-même), les renfermer dans un moule épais et solide appelé *moule de potée*, dans lequel on ménageait des canaux, dont les uns (les *jets*) recevraient le bronze en fusion, et dont les autres (les *évents*) donneraient issue aux gaz et à l'air déplacé par l'alliage métallique. Il fallait ensuite, après avoir armé le moule de potée de forts bandages de fer, fondre les cires, opération très-délicate et fort longue (pour de grandes fontes elle durait jusqu'à trois semaines). Enfin on revêtait le moule d'une dernière chemise en plâtre, et on le plaçait dans de la terre fine, assez fortement foulée pour qu'elle opposât une résistance suffisante aux efforts du métal en fusion. On ne voyait plus alors du moule que les bouches des jets dans lesquels on allait couler le bronze, et des évents par lesquels les gaz et l'air déplacé allaient trouver une issue facile.

Ces quelques mots suffisent pour montrer toutes les difficultés du moulage en cire; et, comme si ces difficultés n'étaient pas suffisantes, on les exagérait encore en voulant sans cesse tenter les fontes d'un seul jet. Contrairement à la pratique des anciens, qui fractionnaient le plus possible la fonte de leurs bronzes, il semble que, depuis la renaissance jusqu'au dix-huitième siècle, le but unique des meilleurs fondeurs ait été de couler leurs monuments d'une seule pièce. Nous avons montré comment la constitution atomique des alliages métalliques s'opposait à ces fontes colossales; aussi les voyons-nous presque toujours manquées, refaites et raccordées à l'aide de pièces additionnelles. La plupart de ces statues sont d'un poids infiniment trop considérable. La matière n'était pas ménagée, et ne comptait, pour ainsi dire pas, à côté de la main-d'œuvre. Les bronzes de ces époques sortaient généralement informes de leurs moules et avaient besoin d'être travaillés par les artistes eux-mêmes. Ciselés ainsi de la main du maître, ils acquéraient une très grande valeur d'art, puisque le sentiment et la vie leur étaient définitivement donnés par l'artiste; mais le prix devenait excessif, et l'usage d'autant plus restreint. C'est ce qui fait la valeur des bronzes florentins. Les chefs-d'œuvre du Baptistère, les merveilles du Ghiberti, du Donato, de Cellini sont des pièces véritablement ciselées, portant l'empreinte divine du génie créateur de ces grands maîtres : de là leur charme et leur beauté. Les bronzes des Keller eux-mêmes, les plus habiles fondeurs des temps modernes, sont tous retouchés, refoulés, ciselés par une main savante, par la main de l'artiste lui-même. Mais aussi les portes de Ghiberti pèsent 34,000 livres et coûtèrent 22,000 florins, ce qui représenterait aujourd'hui une somme énorme. Aujourd'hui les temps sont moins favorables aux arts, et une statue de bronze se paye 5 à 6 fr. le kilogramme. Les portes de la Madeleine ont été fondues pour 140,000 fr. par MM. Eck et Durand, et elles sont un chef-d'œuvre industriel. Le gouvernement de la restauration payait encore 200,000 fr. la statue équestre de Louis XIV, qu'il faisait ériger à Lyon, tandis qu'en 1853 MM. Eck et Durand ont fondu, pour la même ville, celle de Napoléon Ier avec ses quatre bas-reliefs pour 61,000 fr.

Les conditions actuelles de la fonte des bronzes sont donc toutes nouvelles et sans précédents. Autrefois la question d'art primait la question industrielle; on ne regardait ni à la quantité de matière employée, ni à la main-d'œuvre, ni au temps nécessaire pour produire quelque chose de parfait : les grandes statues de bronze étaient fondues pour les souverains et pour les villes, et les petites pour un certain nombre d'amateurs capables de les payer comme œuvres d'art. Un nouvel ordre de choses a créé, pour cette industrie, des obligations nouvelles. La question industrielle, la question du bon marché est presque tout; il faut produire beaucoup, promptement et à bas prix, c'est-à-dire qu'il faut économiser, trop souvent même altérer la matière, et, par des procédés nouveaux de moulage, arriver à fabriquer des bronzes qui, une fois sortis du moule et débarrassés des jets et des évents, se présentent avec leur perfection définitive, tels enfin qu'ils doivent être livrés au commerce. Ainsi le travail si patient de l'artiste, qui passait des années à refouiller son œuvre avec un soin infini et à lui imprimer le caractère d'originalité que nous admirons dans les monuments antiques, ce travail n'est plus possible. Quand bien même le temps et l'argent ne feraient pas défaut, on ne trouverait plus maintenant d'hommes formés à ce labeur si long, si pénible et si délicat. En outre, dans les temps anciens et pendant les beaux siècles de la renaissance, les artistes dirigeaient eux-mêmes la fonte de leurs statues; ils avaient une connaissance profonde de tous les secrets de cette industrie, qu'ils considéraient comme le complément de leur art. Les artistes modernes n'en jugent pas ainsi; ils se contentent de donner leurs modèles, et ils abandonnent ensuite à les mains trop souvent inintelligentes, le soin de réparer leurs bronzes : de là vient que le sentiment de leur œuvre se trouve si souvent altéré.

Toutefois de grands perfectionnements matériels ont été apportés, dans ces trente dernières années, aux procédés de l'art des bronzes. D'abord on moule généralement en sable, ensuite on ne cherche plus à fondre d'un seul jet, sinon par simple curiosité et pour de petites pièces; au contraire, on fractionne la fonte le plus possible, afin d'avoir plus de perfection dans le moulage et plus d'homogénéité dans la matière. Le fondeur doit d'abord examiner, étudier dans ses moindres détails le modèle qu'on lui présente, le diviser par la pensée de la manière la plus convenable pour que le moulage le reproduise avec fidélité, intelligence et délicatesse, combiner toutes ses pièces de rapport, et examiner quelles seront les coupes les plus propres à faciliter la dépouille sans altérer la forme. C'est seulement après cette œuvre préliminaire qu'il se met à l'œuvre avec sécurité et qu'il peut compter sur le succès. Dans le choix du sable employé pour le moulage, il faut éviter la présence du calcaire, qui, par sa calcination, produirait, au moment de la coulée, un dégagement de gaz fâcheux. On évite également la présence de l'oxyde de fer, qui, sous l'influence du métal en fusion, formerait, avec l'argile, des composés nuisibles et de nature à entraîner, dans le moule, de graves altérations. Le sable généralement employé à Paris vient de Fontenay-aux-Roses : c'est une argile jaune, pure et suffisamment plastique pour prendre facilement l'empreinte du modèle; on la mélange avec du poussier de charbon, et on la broie en l'humectant légèrement. Pour les petits objets, le moulage s'exécute en *coquilles*, c'est-à-dire dans deux châssis en fonte repérés par trois points. Après avoir divisé le modèle en parties telles qu'elles puissent être moulées et fondues avec facilité, on les réunit dans l'un des châssis préalablement rempli de sable, et on les y enfonce à moitié d'épaisseur; on tasse ensuite le sable autour du modèle; on prépare toutes les pièces de rapport pour les endroits refouillés, on réserve la place des jets et des évents, et l'on obtient ainsi la dépouille de la moitié du modèle. On procède de la même manière pour l'autre moitié dans le second châssis, et le moule en sable se trouve fait. Il ne reste plus qu'à le réparer, à lui imprimer toutes les finesses que devra avoir le bronze, à le recuire afin de lui donner une solidité suffisante, et à le recouvrir de poussier de charbon, afin d'éviter de fausses adhérences entre le sable et l'alliage métallique. On dispose alors, dans chacune des parties du moule, l'armature du noyau. Quand ce noyau a pris une consistance suffisante, on le retire du moule avec son armature, et on en retranche une épaisseur égale à celle que l'on veut donner en bronze. C'est là qu'est aujourd'hui la grande difficulté du moulage, et il faut une main très-

habile pour enlever ainsi du noyau une épaisseur faible et égale dans toutes les parties. On replace ensuite le noyau dans le moule, auquel il n'adhère plus, et il ne reste qu'à couler le bronze dans la partie vide entre le moule et le noyau. On voit combien la pratique actuelle du moulage est plus simple et plus expéditive que le moulage en cire perdue.

Dans ces derniers temps, quelques fondeurs ont substitué la fécule au poussier de charbon. Cette substitution ne semble pas être, jusqu'ici, un perfectionnement industriel : la fécule présente même des inconvénients que n'offre pas le charbon, et qui compromettent souvents les résultats de la fonte ; elle donne au sable une sécheresse et une aridité qui augmentent la dureté des moules, leur enlèvent toute porosité et les rendent imperméables aux gaz. Il en résulte que, lorsqu'on y verse l'alliage en fusion, l'air, ne trouvant plus d'issue facile, opère, dans le masse métallique, des ravages qui rendent le bronze défectueux; on obtient alors des fontes rugueuses qui exigent un travail de lime long et dispendieux.

C'est surtout au point de vue hygiénique qu'on recommande l'emploi de la fécule ; la poussière de charbon, longtemps respirée, s'accumulerait dans le poumon et y opérerait souvent des altérations mortelles. La fécule n'aurait pas cet inconvénient; plus grosse et plus lourde que le poussier de charbon, elle tombe dans le moule sans se mêler à l'air respirable. Toutefois cette question de la supériorité de la fécule sur le charbon est loin d'être résolue ; une longue pratique pourra seule prononcer à cet égard. On a, sans doute, exagéré les inconvénients industriels de la fécule, aussi bien que les inconvénients hygiéniques du charbon, et les fondeurs ne sont pas plus d'accord que les savants sur ce sujet. Cependant les praticiens les plus habiles donnent encore la préférence au charbon.

Quoi qu'il en soit, c'est grâce aux perfectionnements apportés maintenant dans le moulage, aussi bien qu'à la division intelligente du travail substituée aux vains efforts qu'on faisait autrefois pour couler d'un seul jet, que les fondeurs sont parvenus, surtout dans ces vingt dernières années, à imprimer à leur industrie une impulsion puissante. Ils peuvent maintenant traduire en bronze, avec promptitude et économie, les modèles qu'on leur présente sans en altérer ni le sentiment ni la délicatesse. Une fois débarrassée des jets et des évents, chacune des parties du modèle sort du moule telle à peu près qu'elle doit demeurer définitivement ; il ne reste plus qu'à les raccorder et à les souder entre elles ; le travail du ciseau est réduit à son minimum. Ce travail ainsi restreint exige même encore beaucoup d'habileté et d'intelligence, et, si des hommes exercés à la pratique du dessin mettaient la dernière main à ces bronzes, l'exécution y gagnerait certainement beaucoup ; mais il en est rarement ainsi : ce travail est le plus souvent abandonné à des ouvriers, et, si, au point de vue de l'art, les résultats sont peu satisfaisants, ils le sont complétement au point de vue de l'industrie et du bon marché.

Les bronzes d'art sont destinés soit à figurer comme bronzes proprement dits, soit à être dorés. Dans le premier cas, on les met en couleur à l'aide de compositions diverses qu'on applique au pinceau sur la surface du métal préalablement chauffé. Cette couleur varie suivant le goût des époques, et le temps lui donne un caractère spécial qui relève singulièrement la beauté de l'alliage ; c'est ce qu'on appelle la *patine* du bronze : elle devient d'autant plus belle que l'alliage a été mieux composé ; elle est surtout admirable dans les bronzes antiques et florentins. On arrive, du reste, à donner directement au bronze la couleur antique au moyen de solutions diverses dans lesquelles il entre du vinaigre, du sel ammoniac, de la crème de tartre, du sel marin et du nitrate de cuivre. Il est plus difficile d'imiter la *patine* des bronzes florentins. Si le bronze est destiné à être doré, il faut le composer de telle sorte qu'il présente un grain assez compacte pour que la quantité d'or nécessaire à le couvrir ne soit pas trop considérable. L'alliage quaternaire (cuivre, zinc, étain, plomb) est alors le meilleur.

C.

CABLES ET CORDAGES. La fabrication des câbles et cordages a reçu des améliorations, tant par l'application des moyens mécaniques, pour obtenir des fils de caret d'une grande régularité, que par une meilleure construction des appareils propres à effectuer les opérations ultérieures.

Pour fabriquer le fil de caret, la filasse de chanvre, peignée en partie à la main, est soumise par rubans doubles à l'action du peigne à barrettes continu du métier ordinaire, puis étirée en rubans sur deux métiers préparatoires; enfin étirée de nouveau, tordue et enroulée finalement, sous forme de caret, sur de grosses bobines verticales animées d'un mouvement de va-et-vient convenable, d'après les procédés ordinaires de la filature du chanvre.

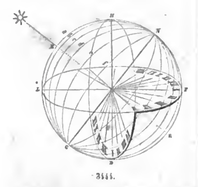
La fabrique de cordages de M. Merlié-Lefèvre (du Havre), que nous prendrons pour exemple et qui jouit d'une juste célébrité, emploie, mus par une machine à vapeur de 45 chevaux, outre les métiers à filer ci-dessus mentionnés : 1° des bobinoirs ou tourets mécaniques où les fils de caret sont enroulés avec célérité et précision, avant ou après leur passage au travers d'une cuve à goudron; 2° une machine à chariot servant au tirage simultané de quatre petits torons ou au simple tirage d'un gros toron, chariot en fer et en fonte qui est mû sur des rails en fer à l'aide de la machine à vapeur ; les tubes compresseurs et les passoires ou filières en calottes sphériques, que traversent les fils de caret, sont établis sur un chantier massif et inébranlable qui porte un mécanisme ingénieux, dont l'idée première, due à M. Hubert (de Rochefort), consiste à rapprocher entre eux, avec une précision très-grande, ces tubes ou passoires, en raison du plus ou moins de résistance que tend à opposer chaque fil de caret, à compenser par leur déplacement latéral les petites variations qui se produisent; 3° enfin, en un puissant appareil pour commettre les gros cordages, composé de deux machines semblables placées, à distance et en regard l'une de l'autre, suivant un même axe, et dont celle de gauche, établie sur une table à support en fonte inébranlable, sert à donner aux torons le degré de surtors nécessaire à leur commettage ultérieur, tandis que celle de droite montée sur un traîneau ou carré mobile, pour permettre le retrait dû à la torsion du cordage d'ailleurs fortement chargé, mais dont le glissement sur les rails, facilité par un mécanisme régulateur à bascule et à frein agissent directement sur les roues, a pour objet unique de donner, en sens contraire, à l'ensemble des torons amarrés au crochet du tourniquet central, que met en

mouvement l'axe horizontal de cette seconde machine, le supplément de tors indispensable, et dont il manquerait essentiellement par suite du débandement des ressorts élastiques des fils de chacun des torons constitutifs.

Inutile d'ajouter que les torons, avant de s'enrouler les uns autour des autres en hélices, sont dirigés, à l'ordinaire, par un toupin à rainures, établi sur un chariot en bois qui porte aussi de grosses bobines, dont l'une, postérieure, est chargée de l'âme, qui, après avoir traversé l'axe du toupin, lui sert de mèche centrale, et dont les quatre autres reçoivent les cordelles servant également, après leur passage oblique à travers le toupin, à garnir les intervalles libres et extérieurs des torons de l'aussière ou à opérer ce qu'on appelle son *congréage*.

Il importe beaucoup, au contraire, pour l'intelligence des procédés suivis par M. Merlié-Lefèvre, dit M. Poncelet, auquel nous empruntons ce qui précède, de faire observer que le mécanisme du chantier ou support fixe et le traîneau ou carré mobile de commettage portent chacun un double embrayage à roues d'angle et à griffes servant à faire tourner à volonté les crochets d'attache des torons et du câble, tantôt dans un sens, tantôt en sens contraire, suivant les besoins du service.

CADRANS SOLAIRES. Le principe sur lequel repose la construction des cadrans solaires sera facilement compris en supposant que la terre est une sphère transparente sur la surface de laquelle sont tracés vingt quatre cercles, passant par les pôles, vingt-quatre méridiens équidistants (fig. 3444).



3444.

Dans sa révolution journalière autour de son axe NG, le centre du soleil traverse successivement le plan de chaque cercle, et comme l'axe de la terre est toujours contenu dans ces plans, si on la suppose opaque, formé par exemple d'une tige métallique, son ombre couvrira la moitié de chaque cercle à chaque heure, à chaque vingt-quatrième partie de la révolution de la terre.

Comme la distance du soleil à la terre peut être considérée comme infinie relativement à la grandeur de celle-ci, tout petit globe transparent situé à la surface de la terre sur lequel on aura tracé vingt-quatre méridiens équidistants, et dont l'axe sera placé parallèlement à l'axe de la terre, présentera les mêmes apparences que le globe terrestre dont nous venons de parler pendant sa révolution en vingt-quatre heures, les ombres indiqueront de même les heures.

Si le petit globe est coupé par un plan passant par son centre et parallèle à l'horizon du lieu où l'on est placé, et que l'on trace les lignes droites qui joignent le centre avec les points de rencontre de ce plan avec les méridiens, l'ombre du dernier axe viendra à chaque heure coïncider avec ces lignes. Tel est le cadran solaire horizontal.

Si on coupe le globe par un plan vertical, la seconde partie de l'axe projettera de même son ombre sur les lignes tracées de la même manière que ci-dessus sur le plan vertical, et on aura un cadran solaire vertical.

Comment doit-on tracer les lignes d'heures successives, supposant tracée la méridienne du lieu, correspondant au passage du soleil au méridien et donnant le midi vrai. Nous décrivons le moyen de l'obtenir à l'article HORLOGERIE, où nous traitons également du temps vrai et du temps moyen.

Prenons le cas le plus simple, celui où le plan du cadran solaire serait perpendiculaire à celui de l'équateur, perpendiculaire à l'axe du monde, il est dit alors *équatorial* ou *équinoxial*. La ligne de midi étant marquée sur ce plan, il suffit de le diviser en parties égales; en élevant d'abord une perpendiculaire sur la ligne de midi, qui donnera six heures du matin et six heures du soir, puis chaque angle divisé en six parties égales donnera toutes les lignes horaires.

Un semblable cadran offre l'inconvénient de ne pouvoir servir que pendant six mois, les six autres mois sa face supérieure est plongée dans l'ombre; il faudrait pour qu'il pût toujours servir que l'axe traversât le plan horaire et que l'on employât pour les six autres mois les ombres portées en dessous de ce plan.

La figure ci-dessus montre comment le tracé des lignes horaires de tout cadran solaire peuvent se déduire de celles d'un cadran équatorial placé sur le même style. Les plans horaires (passant par le style et une ligne horaire) de ce dernier, prolongé jusqu'à leur rencontre avec le plan du premier, y détermineront des intersections qui seront les lignes horaires cherchées. Quand l'ombre du style se couchera sur une des divisions de l'équatorial, elle sera également dirigée suivant la ligne horaire correspondante du nouveau cadran, qui, par suite, marquera les heures aussi bien que le premier.

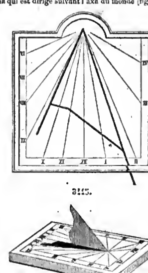
C'est en partant de ces principes et à l'aide de méthodes graphiques assez simples, du domaine de la géométrie descriptive, que l'on détermine les projections des lignes du cadran équatorial, les tracés des lignes horaires des cadrans verticaux et horizontaux et celles des lignes du temps moyen dont nous dirons en terminant quelques mots.

Le plus ordinairement, c'est sur la face verticale d'un mur, exposé pour être exposé longtemps au soleil, que l'on reçoit l'ombre d'un style et que l'on trace par conséquent les lignes horaires avec lesquelles cette ombre doit venir coïncider successivement; le style est installé d'une manière invariable, en avant de ce mur, dans la position d'après laquelle les lignes horaires ont été déterminées (fig. 3445). Son inclinaison est donc déterminée par la latitude connue du lieu où on établit le cadran solaire.

On remplace avec avantage le style par une plaque percée d'un trou (pour éviter les effets de pénombre) et placée de manière que ce trou soit situé sur la direction même du style auquel la plaque est substituée. La plaque produit une ombre sur la surface du cadran, et les rayons solaires qui traversent le trou dont elle est munie viennent éclairer un petit espace au milieu de cette ombre; on observe la marche de ce petit espace éclairé à travers les lignes horaires, de la même manière qu'on aurait observé la marche de l'ombre qu'aurait produite le style, s'il n'avait pas été supprimé. Dans ce cas, le style est représenté par la ligne droite que l'on imagine menée par le centre de l'ouverture de la plaque, parallèlement à l'axe du monde; c'est un point

où cette ligne droite perce la surface du cadran que doivent concourir les diverses lignes horaires.

Souvent dans les cadrans solaires, le style est remplacé par une plaque métallique, terminée par un bord rectiligne qui est dirigé suivant l'axe du monde (fig. 3116);



3115.

3116.

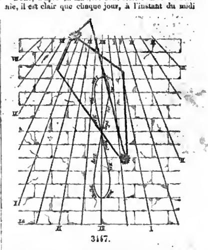
dans ce cas, au lieu d'observer l'ombre de la tige qui forme habituellement le style, on observe le bord rectiligne de l'ombre de la plaque qui a été substituée à cette tige.

La pose du cadran horizontal est tellement simple que nous devons l'indiquer. En effet, avec le secours d'une montre bien réglée sur un cadran convenablement tracé, il suffit d'attendre que l'ombre du style doive tomber sur la division horaire correspondante à l'heure de la montre, et de tourner tout l'appareil jusqu'à ce que cette coïncidence ait lieu, sans déranger l'horizontalité de la surface. De cette façon, en quelques minutes, l'opération se trouvera faite.

Les cadrans solaires dont nous venons de parler marquent nécessairement le temps vrai; toutefois on a essayé de leur faire marquer également le temps moyen.

La disposition la plus ancienne et la plus répandue consiste à tracer sur un cadran solaire, à plaque percée, une ligne courbe destinée à faire connaître chaque jour l'instant auquel il est midi moyen. Cette ligne courbe, que l'on nomme *la méridienne du temps moyen*, a la forme d'un huit allongé comme on le voit sur la fig. 3117. Cette courbe comprend les positions successives du petit espace éclairé de chaque côté de la ligne horaire de midi pour les moments correspondants au midi moyen de chaque jour, suivant que le midi moyen retarde ou avance sur le midi vrai; d'ailleurs ils se trouvent nécessairement à d'inégales hauteurs sur le cadran, par suite du changement qu'éprouve constamment la hauteur méridienne du soleil au-dessus de l'horizon, d'un jour au jour suivant.

Donc, d'après la manière dont cette courbe est définie, il est clair que chaque jour, à l'instant du midi



3117.

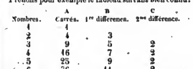
moyen, le petit espace éclairé doit se trouver sur la courbe; de sorte que, en observant le moment où cet espace éclairé vient la traverser, on aura le midi moyen, tout aussi facilement qu'on a le midi vrai en observant le moment où il traverse la ligne horaire de midi. Des noms de mois placés près de la courbe indiquent celle des rencontres que l'on doit choisir, car d'après la forme de la courbe elle est rencontrée deux fois chaque jour.

Une autre disposition fort ingénieuse a été proposée dans ces derniers temps par M. de Saulcy. Elle consiste à faire tourner le cadran chaque jour, autour du style, d'une quantité indiquée par la valeur de l'équation du temps pour que les heures qu'il marquera aient sur le temps vrai le même retard ou la même avance que le temps moyen, c'est-à-dire qu'il marque précisément le temps moyen.

CALCULER (MACHINE A) de Babbage. Nous reproduirons sur la machine inventée par ce savant, qui est le type des machines propres à faire les calculs de l'ordre le plus élevé, à l'aide du principe fécond de l'emploi des différences qu'il y a si heureusement appliqué, les détails que l'auteur a publiés dans son intéressant ouvrage sur l'*Économie des Machines*.

Presque toutes les tables de nombres qui suivent une loi quelconque, quelle que soit sa complication, peuvent être formées sur une échelle plus ou moins étendue par la simple combinaison d'additions ou de soustractions.

Prenons pour exemple le tableau suivant bien connu:



	A	B	C
Nombres.	Carrés.	1re différence.	2me différence.
1	1		
2	4	3	
3	9	5	2
4	16	7	2
5	25	9	2
6	36	11	2
7	49	13	2

Tout nombre de la colonne A peut s'obtenir en multipliant par lui-même le nombre qui exprime sa distance du commencement de la colonne. Ainsi 25 est le cinquième terme depuis le commencement de la colonne et 5 multiplié par 5 donne 25. Retranchons chaque

terme de cette colonne du terme suivant, et mettons le résultat dans la colonne B, qui s'appelle la colonne des premières différences. Si nous retranchons ensuite chaque terme des premières différences du terme suivant, nous trouvons pour résultat unique le nombre 2 (colonne C), et ce nombre reparaîtra constamment dans cette colonne des secondes différences. La constance de cette seconde différence étant démontrée, il est évident que, pourvu que les premiers termes des trois colonnes A, B, C soient donnés, nous pouvons pousser cette table aussi loin que nous voudrons par des additions successives; car on peut former la série des premières différences en ajoutant successivement la différence constante 2 au nombre 3, le premier de cette colonne, puis encore 2 à la somme ainsi produite, etc., et l'on obtient ainsi la suite des nombres impairs 3, 5, 7, 11, etc.; et en ajoutant successivement chacun d'eux au nombre 1, le premier de la colonne A, nous formerons tous les carrés.

Concevons trois horloges, dit M. Babbage, placées l'une à côté de l'autre, chacune ayant une seule aiguille, et portant mille divisions sur un cadran au lieu des douze heures. Concevons de plus chaque horloge garnie d'un ressort qu'il suffit de presser pour qu'une sonnerie compte le nombre de divisions marquées par l'aiguille. Supposons encore que deux des horloges, que nous désignerons par B et C pour les distinguer, soient unies par une espèce de mécanisme tel, que l'horloge C, à chaque coup de sa sonnerie, fasse marcher l'aiguille de B d'une division. Enfin supposons que, par un semblable mécanisme, l'horloge B, à chaque coup de sa sonnerie, fasse marcher d'une division également l'aiguille de A. Dans cet état de choses, supposons que l'on mette l'aiguille de A à la division 1, l'aiguille de B à la division 3, l'aiguille de C à la division 2, et que l'on fasse partir le ressort de répétition de chaque horloge dans l'ordre suivant : d'abord le ressort de A, puis celui de B, enfin celui de C.

Le tableau suivant représentera la marche successive des aiguilles et le résultat de leurs indications.

Série des répétitions.	Ressorts pressés.	Horloge A. L'aiguille est sur 1.	Horloge B. L'aiguille est sur 3.	Horloge C. L'aiguille est sur 2.
			Première différence.	Seconde différence.
1	A	A sonne 1.		
	B	B fait parcourir trois divisions à l'aiguille de A.	B sonne 3.	
	C	. . . .	C fait parcourir deux divisions à l'aiguille de B.	C. sonne 2.
2	A	A sonne 4.		
	B	L'aiguille de A parcourt cinq divisions.	B sonne 5.	
	C	. . . .	L'aiguille de B parcourt deux divisions.	C sonne 2.
3	A	A sonne 9.		
	B	L'aiguille de A avance de sept divisions.	B sonne 7.	
	C	. . . .	L'aiguille de B parcourt deux divisions.	C sonne 2.
4	A	A sonne 16.		
	B	L'aiguille de A avance de neuf divisions.	B sonne 9.	
	C	. . . .	L'aiguille de B parcourt deux divisions.	C sonne 2.

C'est-à-dire que si l'on note les nombres indiqués par la sonnerie de A, l'horloge A, on trouvera qu'ils représentent la suite des carrés des nombres naturels, et cela en faisant marcher de deux divisions à chaque fois l'aiguille C.

La machine complète donnant les résultats de séries compliquées, qu'avait projetées M. Babbage, n'a jamais été exécutée par l'auteur, malgré les encouragements pécuniaires considérables du gouvernement anglais; on n'a exécuté qu'un petit modèle assez simple. On n'a pas non plus réalisé la disposition indiquée par lui de faire tracer par la machine, à l'aide d'enfoncement de poinçons dans une plaque de cuivre, les chiffres du résultat indiqué par la machine.

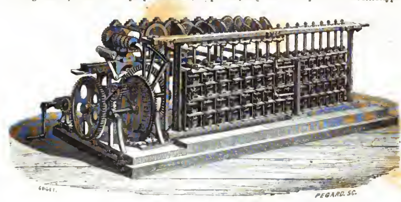
MACHINE DE MM. SCHEUTZ. — Deux courageux et laborieux inventeurs, M. George Scheutz, éditeur d'un journal technologique à Stockholm, et son fils Édouard Scheutz, élève de l'institut de technologie de la même ville, se proposèrent de réaliser le programme dressé par M. Babbage, et y réussirent à l'aide de faibles ressources, par leur travail personnel et grâce à leur persévérance secondée par l'Académie des sciences de Stockholm et le roi de Suède.

Cette machine, qui a été fort admirée, par le petit nombre de personnes capables de l'apprécier, à l'Exposition universelle de Paris, par M. Babbage notamment qui signala les différences qui existaient avec la sienne et par suite tout le mérite des inventeurs, calcule toute espèce de table répondant à des formules dont les différences quatrièmes sont constantes, pour des valeurs successives de la variable; et les résultats de ces calculs sont imprimés en creux sur du plomb dont on tire des clichés en relief pour la galvanoplastie.

Les auteurs ont aussi exécuté des tables de logarithmes

exemptes des fautes qui échappent toujours aux compositeurs d'imprimerie.

La fig. 3148 représente une vue perspective de cette



3148

machine, qui a été achetée par un riche négociant des États-Unis, M. John-Fr. Rathbone, et offerte par lui à l'Observatoire Dudley à Albany (New-York). Une autre, construite pour le gouvernement britannique, est destinée à faciliter les calculs du *Nautical Almanach*.

Nous en empruntons la description à la brochure publiée par les inventeurs.

La partie calculante de la machine (qui en totalité a à peu près les dimensions d'un petit piano) est représentée dans la partie antérieure de la figure. elle se compose d'une rangée de quinze axes verticaux en acier passant chacun par le centre de cinq anneaux calculateurs, argentés, formant autant d'étages; chaque anneau est supporté par une tablette de laiton et tourne concentriquement avec son axe. Sur la surface cylindrique de chaque anneau se trouvent gravés circulairement les dix chiffres ordinaires 0, 1, 3, etc., de manière que l'un de ceux-ci, dans chaque position de l'anneau, fait face au spectateur, et que les chiffres de front de chaque rayon peuvent être lus ensemble, comme si c'était une ligne écrite.

Le rayon supérieur ou le premier présente le nombre ou la réponse résultant du calcul et exprimé par quinze chiffres, dont les huit premiers sont stéréotypés par la machine. Le nombre que l'on voit au second rayon, à partir d'en haut, présente des différences de premier ordre et peut être exprimé aussi par quinze chiffres, si c'est nécessaire. Les nombres des rayons troisième, quatrième et cinquième, présentent, de la même manière, des différences de deuxième, troisième et quatrième ordre, exprimées aussi chacune par quinze chiffres. Chaque rayon peut être arrangé à la main pour présenter un nombre quelconque : prenons par exemple le nombre 987,654,321,056,789, si ce nombre se trouve au rayon supérieur, ses huit premiers chiffres seront stéréotypés immédiatement par la machine chaque fois qu'elle aura fini le calcul dudit rayon. Mais en changeant seulement les anneaux de deux colonnes verticales, la machine peut être arrangée pour calculer des nombres sexagésimaux représentant des heures, des minutes, des secondes et des décimales de secondes, ou des degrés avec des minutes et des secondes. Ainsi, en supposant que le nombre 874,321,487,356,402 se trouvât indiqué au rayon supérieur, il serait stéréotypé comme 87° 43' 21,69". Durant cette même opération, l'argument de chaque résultat est stéréotypé simultanément à sa juste place, sans qu'il n'ait fallu pour cela d'autre mesure préalable que celle d'avoir disposé chaque rayon de manière à représenter le nombre, les différences et l'argument d'où la série doit partir, et d'avoir couché une bande de plomb laminé sur le traîneau de la partie imprimante. Alors, en faisant tourner la manivelle (ce qui ne demande pas plus d'effort que de faire jouer un orgue de Barbarie), la table requise sera *calculée* et *stéréotypée* simultanément dans le plomb; c'est-à-dire que la lame de plomb sera transformée en une belle matrice, dont on pourra tirer autant de stéréotypes qu'on voudra, tous parfaitement nets et prêts à être mis immédiatement sous la presse typographique. En faisant travailler la machine avec une vitesse moyenne, elle calcule et stéréotype à l'heure 120 lignes, prêtes à être mises sous presse. Des essais comparatifs ont prouvé que la machine produit deux pages et demie de chiffres dans le temps qu'il faut à un compositeur intelligent pour assembler les caractères d'une seule page.

M. Grayatt, savant anglais, résume ainsi qu'il suit l'esprit de la méthode qui doit être employée pour calculer sous forme tabulaire une quantité variant suivant une loi donnée, pour intercaler entre des valeurs calculées d'une fonction des valeurs intermédiaires qui puissent être représentées par une série qui comprend des termes des quatre premiers degrés, ce qui souffre bien peu d'exceptions.

Les valeurs de la fonction à calculer étant représentées d'une manière générale sous la forme

$u_x = u_0 + ax + bx^2 + cx^3 + dx^4$; faisons successivement $x = 0, \pm 1, \pm 2$, nous aurons

	1res différences.	2mes différences.
$u_{-2} = u_0 - 2a + 4b - 8c + 16d$		
	$a - 3b + 7c - 15d$	
$u_{-1} = u_0 - a + b - c + d$		$2b - 6c + 14d$
	$a - b + c - d$	
$u_0 = u_0$		$2b + 2d$
	$a + b + c + d$	
$u_1 = u_0 + a + b + c + d$		$2b + 6c + 14d$
	$a + 3b + 7c + 15d$	
$u_2 = u_0 + 2a + 4b + 8c + 16d$		

3me différences. 4me différences.

$$6c-12d$$

$$24d$$

$$6c+12d$$

De là peuvent se déduire les valeurs des coefficients a, b, c, d en fonction de ces différences supposées connues $d=\frac{1}{24}\Delta^4 u_{-2}$ $c=\frac{1}{6}\Delta^3 u_{-2}+2d$ $b=\frac{1}{2}\Delta^2 u_{-1}-d$ et

$$a=\Delta^1 u_{-1}+\frac{1}{2}\Delta^2 u_{-2}-4c$$

La proposition est vraie pour une valeur quelconque de x prise pour unité, et on a plus généralement :

$$\Delta^4 u_{-2x}=24dx^4,$$

$$\Delta^3 u_{-2x}=6\,(cx^3-2dx^4),$$

$$\Delta^2 u_{-x}=2\,(bx^2+dx^4),$$

$$\Delta^1 u_{-x}=ax-bx^2+cx^3-dx^4,$$

différences avec lesquelles nous pouvons disposer la machine pour tabuler en avant de u_0 à u_{2x} ; et, en changeant le signe des différences impaires, nous pouvons tabuler à rebours de u_0 jusqu'à u_{-2x}, par suite obtenir toutes les valeurs de la fonction comprises entre les limites des valeurs de x, et cela sans connaître même la forme de la fonction que nous tabulons, puisqu'il suffit d'avoir auparavant cinq valeurs choisies pour des intervalles égaux de variation de valeur de la variable.

CAOUTCHOUC. Le développement rapide de l'industrie du caoutchouc a conduit à fabriquer avec cette substance un grand nombre de produits nouveaux et curieux qui ont vivement fixé l'attention publique à l'Exposition universelle de 1855. Bien que plusieurs aient été trop vantés, et quoique l'expérience n'ait pas complétement répondu à toutes les espérances conçues, ces produits sont assez intéressants et peuvent trouver dans des industries nouvelles des applications encore inaperçues assez curieuses, pour que nous devions en parler et compléter ainsi notre premier travail.

Pétrissage du caoutchouc. — Nous avons décrit les appareils de malaxation avec lesquels on pétrit le caoutchouc, on ramène en une seule masse de petits fragments. Cette opération est très-remarquable par la grande quantité de chaleur qui résulte de ce pétrissage, qui porte très-rapidement à l'ébullition l'eau versée sur le caoutchouc. La théorie de l'équivalence de la chaleur et du travail mécanique trouve ici une curieuse application, tant parce que le travail mécanique qui rompt les cohésions moléculaires fait dégager la quantité de chaleur qui correspond à ce travail, comme je l'ai prouvé par les expériences d'écrasement du plomb, que parce que les molécules du caoutchouc rompu dégagent de la chaleur en se recombinant, en se ressoudant entre elles comme cela a lieu lors de la solidification d'un corps fondu. Il en résulte un paradoxe apparent, à savoir que cette opération produit une quantité de chaleur plus grande que celle équivalente au travail consommé, ce qui conduit directement au mouvement perpétuel, à l'absurde.

Il est facile de voir que cette propriété de se ressouder après arrachement de manière à donner des quantités supplémentaires de chaleur, correspondant à une quantité de travail plus grande que celle qui répond à la quantité consommée, ne peut appartenir qu'à des corps d'origine organique, dont cet arrachement détruit les utricules constituantes, et que le prolongement du pétrissage viendrait détruire cette propriété et par suite la faculté de donner un excédant de chaleur qui correspond à une cohésion moléculaire, ce qui équivaut à de la chaleur emmagasinée, engendrée lors de la végétation.

Caoutchouc dissous. — Nous allons trouver la preuve des propositions précédentes, pour le caoutchouc, dans les faits suivants :

MM. Aubert et Gérard, habiles fabricants de caoutchouc, voyant avec quelle facilité le caoutchouc se gonflait, se ramollissait dans les essences, ont voulu aller au delà pour faciliter les opérations mécaniques. Ils sont parfaitement parvenus, en le pétrissant avec le sulfure de carbone qui s'évapore facilement et une petite dose d'alcool, à en faire une pâte bien homogène, et ont pu, par une simple pression, la faire passer à travers une filière, ce qui leur a donné des fils ronds d'une grande beauté, évidemment supérieurs, quant à leur forme, aux fils carrés que produisent les cisailles et dont la rupture commence toujours par l'éraillement d'un angle.

Mais, malgré tous les soins apportés, ces fils de caoutchouc, dont la forme était excellente, n'ont jamais pu retrouver une élasticité comparable à celle des premiers, évidemment parce que la dissolution poussée trop loin avait trop désagrégé les fibres végétales pour ne plus laisser subsister que le composé chimique, dont les molécules n'ont plus entre elles la même adhérence que lorsqu'elles restent groupées d'une manière déterminée par l'acte de la végétation.

Préparation première du caoutchouc. — Cette espèce de trame organique, dit également le savant M. Balard, dans les excellentes pages qu'il a écrites sur l'industrie du caoutchouc dans le rapport sur l'Exposition universelle de 1855, que possède le caoutchouc naturel lui donne une élasticité bien supérieure à celle qui distingue le caoutchouc malaxé, qu'on appelle dans le commerce caoutchouc régénéré. Il est donc à désirer que les procédés de l'épuration du caoutchouc s'améliorent, de manière à conserver à ce produit naturel toutes ses qualités, et que les formes sous lesquelles on l'obtient le rendent susceptible d'être débité en fils avec moins de perte. C'est précisément ce que tend à réaliser le mode d'extraction que commencent à employer les Indiens du Para, et qu'a fait connaître M. Émile Carrey, par un petit modèle qui figurait à l'exposition des produits de l'Amazone. L'arbre étant incisé par une entaille faite avec une petite hache, ils disposent sous l'incision une coquille retenue en place par le moyen d'un peu de terre grasse, de manière à recueillir le suc par et sans mélange de matières terreuses ou de débris de bois. Au lieu de façonner ce suc concrété en poires, ils commencent maintenant à tremper dans ce suc une planche rectangulaire munie d'un manche et ayant à peu près la forme et la dimension d'un battoir. Ces appareils se prêtent à un arrangement facile sous la cape d'une espèce de cheminée où on active la dessiccation de ce suc concrété, par la combustion de certains bois indigènes. Cette dessiccation rapide donne au caoutchouc cohérent une teinte uniforme brunâtre due à la fois à l'air et à la fumée, teinte qui est une garantie qu'il ne contient pas d'eau comme le caoutchouc opaque et blanc qui se trouve dans l'intérieur de certaines poires épaisses qui, présentant dans leur section l'apparence du lard, ont été appelées poires lardeuses. On détache ensuite le caoutchouc desséché en tranchant cette espèce de fourreau sur ses côtés, et l'on obtient ainsi des lames naturelles dont le découpage en fils, plus facile et donnant lieu à moins de déchets que celui que l'on exécute sur les poires aplaties, fait vivement désirer que cette méthode plus rationnelle de dessiccation du caoutchouc se répande chez les peuplades qui nous fournissent ce produit.

Cette extraction du caoutchouc, déjà améliorée, la sera bien plus encore quand on pourra y introduire les pratiques rationnelles de l'industrie européenne. M. Antoine, représentant de la Californie à l'Exposition universelle, paraît avoir employé avec succès un procédé qui consiste à recevoir le suc laiteux sur un châssis,

dont le fond en toile de coton grossière reposa sur une couche de sable fin, de telle sorte que la partie aqueuse de la sève laiteuse, enlevée rapidement par l'imbibition, laisse à la surface une lame de caoutchouc pur, dont on peut compléter la dessiccation au soleil. Cette filtration est cependent lente, et la sève laiteuse sur laquelle on opère pourrait éprouver la fermentation. On peut la prévenir en ajoutant à la liqueur aqueuse 2 ou 3 centièmes d'eau-de-vie du pays, et empêcher ainsi ces altérations de la sève qui déprécient notablement certains caoutchoucs du commerce. On conçoit que quand un tel mode de préparation se sera répandu, le caoutchouc naturel devra présenter une homogénéité de composition analogue à celle du caoutchouc manufacturé, et une résistance à la traction très-appréciée dans la confection des tissus élastiques."

Vulcanisation. — L'Exposition universelle présentait deux espèces de caoutchouc volcanisé : caoutchouc résistant à la compression, volcanisé avec introduction dans la masse de carbonate de plomb qui, se transformant en sulfure de plomb, donne à ce produit une teinte noire foncée qui concourt, avec la résistance à la compression, pour rendre cette qualité de caoutchouc plus propre à la confection des chaussures ; et caoutchouc volcanisé sans introduction de matières étrangères, autres que le soufre, qui, selon qu'il a été ou non désulfuré par les solutions alcalines, présente ou la teinte grisâtre du soufre qui vient s'effleurir à la surface, ou la teinte brune du caoutchouc ordinaire. Ce caoutchouc diffère du précédent en ce que, pouvant être comprimé par l'intervention d'une force moins grande, il est moins apte à reprendre le volume qu'il avait avant cette compression, mais en compensation il s'allonge beaucoup plus sous des tractions opposées sans crainte de rupture.

Dans les fabriques d'Allemagne, il arrive souvent qu'à l'exemple de ce qui se pratique aussi parfois en Amérique, on introduit dans le caoutchouc ramolli, de l'oxyde de zinc, matière inerte qui, répandue dans la masse, contribue à lui donner la teinte blanchâtre qu'elle possède, et en augmente la densité ; mais cette addition, qui rend la caoutchouc plus cassant quand on l'étire, sans qu'il présente plus de force de compression quand on le comprime, et qui contribue à rendre plus prompte son altération spontanée par le temps, aidé surtout d'une certaine température, présente des inconvénients que rien ne rachète, et n'a pour résultat que de diminuer le prix du produit aux dépens de la qualité.

Si, à la place de cet oxyde de zinc, inaltérable par le soufre, on introduit dans la masse du caoutchouc d'autres matières colorantes, inaltérables aussi par cet agent, telles que le vermillon, l'outremer, le chromate de zinc, on peut obtenir ainsi, avec des couleurs franches répandues dans la masse et non sujettes à s'effacer, ce qu'on fabriquait autrefois en recouvrant simplement au pinceau, après la volcanisation, les objets en caoutchouc d'une couche de couleur qui ne présentait jamais beaucoup d'adhérence.

On peut mêler, à l'exemple de MM. Aubert et Gérard, les caoutchoucs diversement colorés, ramollis par la chaleur de manière à les incorporer d'une manière incomplète, et produire ainsi des masses présentant cet aspect marbré qui caractérise certains savons. On conçoit qu'en découpant ces masses en lames minces, on peut obtenir ainsi des feuilles de caoutchouc qui présentent l'aspect d'un tissu imprimé. Soude-t-on l'un sur l'autre des disques différemment colorés et d'épaisseur variable, on obtiendra, en les découpant à leur circonférence, des lanières à bandes parallèles diversement colorées, qui constituent des ceintures élastiques simulant parfaitement des ceintures ordinaires tissées avec des fils de différentes couleurs.

Cette manière de découper ainsi un bloc cylindrique de caoutchouc suivant une spirale, et de façon à obtenir une feuille continue de 50 à 60 mètres de longueur, est une amélioration importante dans la manière d'obtenir ces feuilles, qui présentent beaucoup d'avantages quand elles sont de grandes dimensions. Dans la machine qui sert à obtenir ces feuilles, le couteau, maintenu dans des coulisses fixes, au lieu de marcher en avant comme dans les machines anciennes, n'a qu'un mouvement de va-et-vient et ne se déplace pas. C'est le cylindre de caoutchouc qui, tournant sur lui-même, de manière à présenter ainsi les divers points de sa circonférence au couteau, avance progressivement par le moyen d'une vis adaptée au chariot qui le porte. Ces deux mouvements sont solidaires, et tellement combinés, que la feuille détachée a la même épaisseur dans toute son étendue, et que les rayures que forme le couteau et qui donnent le grain distinctif de cette espèce de feuilles sont parfaitement équidistantes dans toute son étendue, résultat qui n'avait pas été réalisé avant les perfectionnements apportés à la machine par MM. Guibal et Cie.

Caoutchouc durci. — Le durcissement du caoutchouc trop sulfuré était un inconvénient sérieux qui empêchait de le faire servir à la place du cuir, pour réunir les brides des tuyaux où circule la vapeur. On a pu, dans ces derniers temps, employer le caoutchouc à cet usage, d'une manière très-utile, par deux moyens différents. On l'associe en petite quantité à des matières textiles, qu'il pénètre uniformément et de manière à réunir la résistance mécanique de ces matières avec les qualités que présente le caoutchouc lui-même. En observant que le caoutchouc mêlé de carbonate de plomb ne présente cet inconvénient qu'à un très-faible degré, Gorand a eu l'idée de le mêler avec de l'hydrate de chaux, qui doit, on le sent bien, produire une désulfuration encore plus certaine. 100 parties de caoutchouc, 4 de soufre et 50 d'hydrate de chaux, sont les proportions qu'il emploie pour préparer une pâte de caoutchouc parfaitement élastique, qui se façonne comme à l'ordinaire, et que l'on volcanise ensuite par le procédé usité, puis à la chauffer à 140 degrés pendant une heure ou une heure et demie, soit dans la vapeur d'eau, soit dans l'eau elle-même, qui, dissolvant plus spécialement le sulfure et la chaux de la surface, la laisse bien plus souple.

On sait que ce durcissement du caoutchouc convenablement régularisé est devenu pour M. Goodyear la source d'applications importantes. L'examen des objets de ce genre, exposés déjà en 1851 à Londres, permettait de concevoir, pour le développement de cette industrie nouvelle, des espérances qui ont paru des réalités à l'Exposition de 1855. On a essayé d'employer à des usages très-divers ce caoutchouc survolcanisé, et qui, selon la quantité de soufre qu'il contient et la température à laquelle il a été exposé, peut acquérir des intermédiaires entre l'élasticité du caoutchouc et la rigidité du bois ; on a essayé de le substituer à la toile pour la peinture à l'huile, au fer pour la fabrication des plumes, au cuivre pour le doublage des navires, aux fanons de baleine pour fabriquer les baleines des parapluies, à l'écaille dans la confection des peignes, ainsi que de plusieurs objets de tabletterie. Toutes ces applications nouvelles n'ont pas encore eu un succès complet, et l'expérience leur a été peu favorable. Elles n'en sont pas moins très-intéressantes, et quelques-unes subsistent, notamment la fabrication des peignes en caoutchouc, qui est devenue l'objet d'un commerce assez important.

Quelques-unes des grandes usines où se travaille le caoutchouc confectionnent des plaques de caoutchouc durci qui, livré aux ouvriers tabletiers, devient pour eux la matière première qui sert à la confection d'objets

divers. Ces plaques sont toutes fabriquées avec des feuilles de caoutchouc contenant 50 pour 100 de soufre laminées, puis exposées pendant un temps qui varie de 7 à 12 heures, suivant l'épaisseur, à une température de 150 degrés, supérieure dès lors de 20 degrés à celle qui est nécessaire pour produire la volcanisation ordinaire.

En diminuant la proportion du soufre, comme aussi la durée et l'intensité de la chaleur, on obtient une matière d'une dureté et d'une flexibilité comparables à celle du cuir épais, et c'est cette dernière préparation que l'on a essayé de substituer au cuivre pour le doublage des coques de navire. Quelques essais en grand ont déjà eu lieu, et M. Goodyear assure qu'un navire recouvert de ce caoutchouc sulfuré a pu faire un voyage de circumnavigation sans que la couche préservatrice ait été altérée, et qu'il se soit développé à sa surface cette végétation sous-marine qu'un vaisseau non doublé emporte avec lui, et qui ralentit sa marche d'une manière si notable. Du reste, le caoutchouc tout à fait durci lui-même jouit de la propriété de se ramollir légèrement par la chaleur et devient susceptible de recevoir, par la pression, des empreintes diverses. Cette circonstance a permis de tenter, avec chance de succès, des essais pour le substituer aux cylindres métalliques gravés dont on se sert dans l'impression des toiles peintes. Si sa résistance mécanique est suffisante, il est certain qu'il présentera dans son emploi plus d'économie que le cuivre, dont on fait usage généralement, et une matière moins altérable que ce métal par les produits chimiques déposés sur les toiles avec les matières colorantes par la voie de l'impression.

Sauf les modifications de détail appropriées à chaque espèce d'objet, le mode général de fabrication des objets en caoutchouc durci est le suivant : les objets à surfaces planes, tels que les peignes, les manches de brosse, les manches de couteau, les cannes, les baleines, les couteaux à papier, les règles, les équerres, etc., sont obtenus en découpant dans des plaques, par les moyens ordinaires, des morceaux de forme convenable qu'on évide ensuite, que l'on contourne et que l'on fend comme il est nécessaire. L'objet est ensuite poli comme s'il était en écaille. Quant aux objets qui ont une partie légèrement courbe, tels que les lunettes, les peignes à tenir les cheveux, les chausse-pieds, etc., ils s'obtiennent en faisant d'abord ces objets plats, puis en les chauffant assez fortement en les exposant au-dessus d'un fourneau et, profitant de l'espèce de ramollissement qu'ils éprouvent ainsi, pour les bomber sur un moule où ils se refroidissent rapidement en conservant la forme prise.

Pour tous les objets présentant la forme de boîte, tels que les tabatières, les étuis de tout genre, les tubes de télescopes, les petits coffres, on forme par les moyens indiqués ci-dessus les faces planes ou bombées qui composent ces objets, et pour les réunir tous ensemble, on prend des moules intérieurs et extérieurs qui, convenablement disposés, laissent entre eux des vides présentant également les dimensions des objets à obtenir ; on place dans ces vides, aux endroits convenables, les différentes faces déjà préparées, et aux points de contact de ces faces, là où elles doivent être soudées, on met de la poudre fine obtenue en râpant le caoutchouc durci. Le moule alors est soumis à des pressions qui, rapprochant l'intérieur de l'extérieur, compriment très-fortement la matière qui garnit le vide. Il faut, en même temps qu'on presse, avoir soin de chauffer fortement, de manière à ramollir un peu la matière. Ces deux actions continues amènent la réunion parfaite des diverses parties de l'objet par le moyen de la poudre qui sert en quelque sorte de soudure.

Cette poudre est exclusivement employée quand il s'agit de formes très-compliquées, telles que statuettes, moulures de tout genre, etc. Les grains de cette poudre, qui s'agglomèrent sous l'influence de la pression et de la chaleur, forment une matière cohérente qu'on polit et qu'on incruste comme l'écaille, à laquelle, on le voit, le caoutchouc ressemble par son aspect, par son emploi, et par son mode de fabrication.

Il en diffère cependant par la propriété de développer par le frottement des quantités considérables d'électricité, circonstance qui n'a pas lieu d'étonner quand on se rappelle combien est idio-électrique et mauvais conducteur le soufre qui fait partie de ce composé : on avait présenté ce dégagement d'électricité, de même que la production légère mais constante, d'acide sulfhydrique, à laquelle donnent lieu les objets en caoutchouc sulfuré, comme un inconvénient attaché à l'emploi de cette matière ; si cet inconvénient pouvait devenir sensible dans un salon où on aurait trop multiplié les meubles en caoutchouc durci, qui, légèrement odorants, pourraient, par l'électricité dont on les chargerait en les frottant, attirer à eux les parcelles flottant dans l'atmosphère, il ne l'est pas évidemment pour les peignes, dont la consommation constante a fait justice de ces objections.

Si cette faculté de dégager de l'électricité n'est pas dans ce cas un défaut, on peut dire que dans d'autres elle constitue une faculté précieuse dont les physiciens sauront tirer parti.

L'Exposition américaine contenait une petite machine électrique, construite par les soins de M. Goodyear, dans laquelle le plateau et les isoloirs en verre avaient été remplacés par du caoutchouc durci, et qui, montée au moment même où elle venait d'être déballée, put, sans aucun soin, donner de vives étincelles dans des conditions où les machines ordinaires n'en auraient pas donné une seule.

Applications du caoutchouc. — Ces applications nouvelles du caoutchouc, quand il a été durci, marchent de pair avec celles où l'on utilise la mollesse et l'élasticité que lui communique la volcanisation ordinaire. L'Exposition universelle a permis d'en constater quelques-unes de nouvelles.

Le velouté de la surface du caoutchouc, et la nature de ses éléments, le rendent propre à recevoir l'encre grasse de l'imprimerie et de la lithographie ; M. Goodyear, en imprimant sur des feuilles de caoutchouc l'ouvrage qu'il a composé sur ce singulier produit, en faisant tirer des lithographies sur des feuilles de caoutchouc substituées au papier, a montré combien il était propre à rendre toute la finesse des détails dessinés sur la pierre. C'est cette propriété, jointe à son élasticité, que M. Devillers a essayé d'utiliser dans une machine à amplifier les dessins. Qu'un dessin soit tracé avec une encre lithographique sur une plaque de caoutchouc blanche et lisse de forme circulaire, et qu'en tirant uniformément cette lame circulaire par tous les points de sa circonférence on donne à la lame une dimension plus grande, qu'on le tende dans tous les sens, le dessin prendra des proportions plus grandes sans se déformer, et on pourra en obtenir des reproductions amplifiées justes au degré nécessaire.

Parmi les produits anglais figurait une bride, où l'élasticité du caoutchouc avait été utilisée d'une manière heureuse. La courroie de cuir qui constitue la bride se bifurque des deux côtés de la tête du cheval en deux courroies différentes, presque parallèles : l'une, en cuir, s'attachant à l'anneau inférieur du mors ; l'autre, plus courte, en caoutchouc, s'attachant à l'anneau supérieur. Tire-t-on modérément cette bride complexe, on n'agit d'abord que sur l'anneau supérieur du mors, et par l'intermédiaire du caoutchouc, qui s'allonge, la courroie de cuir qui lui est parallèle se développe, mais incomplétement et sans se tendre. Mais, dès que par une traction plus grande on a atteint

la limite où le caoutchouc, suffisamment allongé, cesse d'agir seul et permet à la courroie de cuir de se tendre et d'agir à son tour, la traction qui se transmet alors, d'une manière plus efficace, sur l'anneau inférieur du mors, permet au cavalier d'exercer une action énergique sur sa monture, et, en n'ayant à la main qu'une courroie, il peut produire, pour diriger et modérer la marche du cheval, deux effets qu'on n'obtient ordinairement qu'en agissant sur deux courroies différentes.

La souplesse du caoutchouc volcanisé, qui le rend susceptible de s'appliquer d'une manière parfaite sur des ouvertures diverses, a fait depuis longtemps employer ce produit pour des fermetures hermétiques, et la confection de soupapes diverses. On en fabrique aujourd'hui d'excellentes en forme d'anches, dues à MM. Perrault et Jobard, d'autres de forme sphérique, tantôt en recouvrant de caoutchouc un boulet en fonte, mais mieux encore par les procédés qui servent à obtenir ces balles creuses si légères, dont l'aptitude à rebondir est augmentée par l'air comprimé qu'on y insuffle et qui constituent un jouet d'enfant dont l'usage doit se répandre d'autant plus qu'il est d'une innocuité complète pour ceux qui en font usage, et pour les vitres des appartements où l'on s'en sert. Quoique plus épaisses que ces balles creuses qui servent de joujoux, ces sphères, servant de soupapes, ont cependant des parois assez minces, ce qui les laisserait trop légères, mais lestées avec de la grenaille de plomb placée dans leur intérieur, elles deviennent ainsi plus pesantes, tout en conservant leur parfaite souplesse, et peuvent retomber naturellement et s'appliquer avec exactitude sur les orifices qu'elles doivent fermer quand elles sont abandonnées à elles-mêmes dans le jeu des pompes.

Cette flexibilité du caoutchouc ne lui permet pas de s'appliquer directement à la fabrication des tuyaux des pompes aspirantes, tuyaux qui seraient déprimés promptement et oblitérés par la pression de l'air. On avait essayé d'obvier à cet inconvénient en plaçant dans l'intérieur du tuyau des spirales métalliques résistantes, mais qui ne permettaient pas de faire circuler dans ces tuyaux toute espèce de liquide. On place aujourd'hui ces spirales dans la paroi même du tuyau qui forme ces tubes, qui peuvent alors servir pour la conduite et l'aspiration des acides, la substance métallique étant garantie de tout contact.

Il est des circonstances dans lesquelles on a à exercer, au moyen de corps à surfaces raboteuses, une friction qu'on a intérêt à rendre très-douce. On a, pour atteindre ce but, fabriqué dans ces derniers temps, avec des plaques de caoutchouc volcanisé, présentant des stries et de petits cylindres placés en saillie, des espèces de brosses propres à une foule d'usages, ainsi que des planches à laver, avec lesquelles on ne court aucun risque de déchirer ou d'user le linge, comme il arrive avec les planches de ce genre en bois ou en métal. Il est permis d'espérer que ces nouveaux appareils, introduits dans les buanderies, préviendront peut-être un peu la rapide détérioration du linge qu'on y blanchit.

Chaque jour voit surgir des applications nouvelles du caoutchouc. Enveloppes pour emballer les bouteilles et prévenir la casse; rondelles pour déposer sur l'épaulement d'un flacon en cristal, et rendre la fermeture obtenue par un couvercle de même substance exacte et facile; siphons destinés à transvaser les acides, et qui s'amorcent d'eux-mêmes quand, après avoir pressé une sphère de caoutchouc qui communique avec le tube, on permet à son élasticité de déterminer une aspiration; tâte-vin commode, composé d'un tube et d'une boule de caoutchouc qui se remplit de vin par le même moyen, et introduit dans l'industrie l'usage de la pipette en gomme élastique des laboratoires, ce sont autant de formes nouvelles sous lesquelles s'est manifesté, à l'Exposition universelle, l'emploi du caoutchouc.

CAPILLARITÉ. Nous avons indiqué déjà le grand rôle que joue la capillarité dans un grand nombre de phénomènes et les applications multipliées qu'on en fait dans les travaux industriels.

L'étude de cette question par Laplace et Poisson a conduit ces savants à des formules qui représentent convenablement les phénomènes, et réciproquement l'interprétation de ces formules a conduit à des expériences très-curieuses que nous devons indiquer ici.

La formule à laquelle Laplace est arrivé permet de prévoir la forme de la surface du liquide sur lequel s'exerce la capillarité. Elle consiste en ce que, si l'on appelle R et R' les rayons de courbure principaux de la surface en chaque point, K' un coefficient qui dépend des corps en présence, et B la quantité dont il faut diminuer la pression moléculaire A qui s'exerce sur la surface du liquide, quand de plane elle devient concave, on a :

$$B = K'\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$$

Cette formule a conduit M. Plateau aux curieuses expériences que nous voulons rapporter ici.

Si un liquide n'était pas pesant, il prendrait un état d'équilibre uniquement déterminé par les actions moléculaires qu'il exerce sur lui-même, et qui doivent agir symétriquement s'il n'y a aucune force étrangère; donc l'on devrait, quel que soit le point considéré sur sa surface, avoir :

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = \text{constante}.$$

La figure que ce liquide prendrait naturellement satisferait nécessairement à cette condition, et réciproquement toutes les formes de surfaces qui y satisfont sont des figures d'équilibre possible, stables ou instables.

Pour réaliser ce cas d'un liquide sans pesanteur, M. Plateau compose avec de l'eau et de l'alcool un mélange en proportions telles, qu'il ait exactement la densité de l'huile, de façon que cette huile s'y maintienne en équilibre parfait.

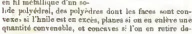
Pour faire l'expérience, on engage au milieu du liquide mélangé, placé dans un vase de verre, l'extrémité d'une pipette pleine d'huile qu'on laisse écouler très-lentement; elle se réunit en masse à l'extrémité du tube, et, quand elle est en quantité suffisante, on retire la pipette en la bouchant; l'huile reste immobile à la place où elle a été déposée, elle y prend la forme sphérique (fig. 3449). On sait qu'il en est ainsi toutes les fois qu'on agite de l'huile dans un liquide aqueux; les gouttelettes oléagineuses sont toujours sphériques. C'est la forme la plus stable, et elle satisfait évidemment à l'équation ci-dessus.



3449.

Pour obtenir d'autres formes, il faut introduire d'autres forces que celles dues aux actions moléculaires. M. Plateau a recours à un artifice qui consiste à fixer certains points de la surface à des contours métalliques formés de fils de fer préalablement huilés; l'huile adhère à ces contours et se présente sous des formes nouvelles. Ainsi, sur une circonférence, elle

se dispose sous la forme d'une lentille bi-convexe dont les deux surfaces ont le même rayon (fig. 3450). Dans ce cas, on a déterminé la figure de la masse en assujettissant sa surface à passer par une circonférence fixe, et la nouvelle forme satisfait à la fois à la condition générale et à une condition particulière.



3450.

A l'aide de deux contours circulaires métalliques, on peut obtenir un cylindre d'huile parfait, comme à l'aide d'arêtes en fil métallique d'un solide polyédral, des polyèdres dont les faces sont convexes si l'huile est en excès, planes si on en enlève une quantité convenable, et concaves si l'on en retire davantage.

L'expérience la plus curieuse est celle qui s'exécute en imprimant, au moyen d'un axe central, un mouvement de rotation à la sphère qui se forme directement, ce qui s'obtient en la traversant par une tige métallique à laquelle on imprime un mouvement rotatoire. Il se communique bientôt à la masse de l'huile (fig. 3451), et la sphère s'aplatit par l'effet de la force centrifuge, d'autant plus qu'elle tourne plus vite. On sait que c'est à cette cause que l'on attribue l'aplatissement vers les pôles du sphéroïde terrestre.



3451.

Mais quand la rapidité de la rotation augmente, l'aplatissement de la goutte d'huile s'exagère, elle se creuse, et bientôt se sépare en deux parties : l'une, intérieure, est un sphéroïde qui reste au centre; l'autre est un anneau qui l'entoure, et que l'on ne peut s'empêcher de comparer, pour son origine et son aspect, à l'anneau de la planète Saturne.

CARDES, CARDAGE. Le travail des anciennes cardes à manche, dit M. Poncelet, constitue au fond le type sur lequel ont été établies les machines rotatives modernes. Pour s'en rendre compte, il suffit de remarquer que, selon le sens parallèle du mouvement de la carde mobile sur la carde fixe, les fibres, naturellement très-courtes de la laine et du coton, sont ou étirées, dressées et distribuées complétement entre les deux cardes, ou complétement enlevées à l'une d'elles par l'autre.

En enroulant par bandes égales et parallèles des cuirs armés de pareilles cardes autour de rouleaux, de tambours horizontaux parfaitement cylindriques, ainsi que l'avait tenté, dès 1748, Paul-Louis, et faisant tourner l'un vis-à-vis de l'autre, pour ainsi dire tangentiellement, ces cylindres, on a pu, selon l'inclinaison des dents, le sens et la différence des vitesses relatives, opérer d'une manière continue l'étirage, le redressement parallèle des fibres primitivement courbées, infléchies, entrelacées de mille manières, action commençant un travail de moins en moins grand à mesure que le parallélisme se produit; dégarnir alternativement le plus gros des cylindres pour en garnir l'autre, ou la succession des autres qui l'entourent extérieurement, et finalement produire, à l'aide d'un dernier cylindre délivreur, des nappes cylindriques continues, détachées au moyen d'un large peigne horizontal à manivelles extrêmes, attribué par les uns à un certain Lees, par les autres à Arkwright. Ce peigne animé, tangentiellement au dernier cylindre cardeur, d'un mouvement alternatif vertical, détache incessamment les fibres dans toute la longueur, pour en former ensuite des nappes continues ou de simples rubans par le passage au travers d'une sorte d'entonnoir, suivi de cylindres compresseurs, puis finalement enroulées en hélice autour d'un cylindre uni qui permet de les soumettre à des opérations ultérieures.

Ces diverses et ingénieuses opérations n'ont guère été modifiées, quant au principe, depuis l'époque de 1779, où elles enrichirent l'aïeul de sir Robert Peel, auquel fut délivrée une patente pour divers perfectionnements; elles furent aussi l'une des principales sources de la fortune d'Arkwright, en lui fournissant le point de départ de son ingénieux système de multiplication et de mélange des rubans par doublages et étirages successifs, conception qui est devenue la base de toute filature automatique. Avant l'application de ce principe, on n'était point parvenu à produire des fils de qualités supérieures, à cause du manque d'égalité, d'homogénéité des fibres; ce qui est devenu facile en augmentant le nombre des étirages avec l'élévation du numéro du fil.

L'action de la carde, pour redresser les fibres par traction, exercée sur des fibres adhérentes entre elles et avec l'autre carde, suffit parfaitement pour les filaments courts, mais elle ne pourrait s'appliquer avec avantage aux filaments longs; elle les déchirerait, les laisserait repliés. C'est alors au PEIGNAGE qu'il faut avoir recours. Nous verrons, en parlant de la PEIGNEUSE HEILMANN, tous les avantages que l'on peut retirer du peignage de petites mèches successivement détachées et réunies à la masse, pour obtenir des perfectionnements que la carde seule ne permet pas de réaliser, même pour les fibres courtes.

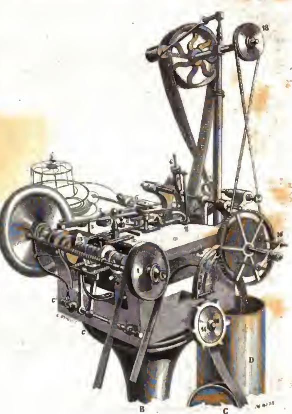
Quoi qu'il en soit, la carde ne demeure pas moins l'outil essentiel de la filature, le moyen par excellence, dans les cas où elle est applicable, de faire entrer les fibres textiles, dans un état de préparation convenable et en quantité facile à régler, dans le courant des opérations de la filature, qui les transforme automatiquement ensuite, avec la plus grande facilité, en fils de grosseur et de torsion déterminées.

Évidemment ce n'est que la perfection et le bon marché de la fabrication des rubans de cardes, qui ont permis de tirer si grand et si utile parti de cet outil, et l'invention de la machine qui sert à les fabriquer dans ces conditions est une des bases fondamentales de la filature automatique.

Nous compléterons ce que nous avons dit de la machine à bouter les cardes, inventée en 1795 par M. Amos Whittmore des États-Unis d'Amérique, en donnant la figure et la légende d'une élégante machine de cette nature (fig. 3452) qui excitait l'admiration générale à l'Exposition universelle de Londres.

Les pièces qui se meuvent sont montées sur une base et un piédestal B en fonte, supportant une masse carrée C. Le ruban qui sert de point de départ à la fabrication de la carde se déroule d'un rouleau placé à la partie inférieure. 1 est la poulie motrice, montée sur l'extrémité d'un axe garni d'excentriques qui donnent le mouvement aux diverses pièces que nous allons décrire et que des ressorts ramènent à leur place; 2 est le *stoppeur*, qui permet d'arrêter la machine lorsque le fil de fer manque sur la bobine 4, ou pour quelque autre cause; 3, les pinces qui amènent la longueur de fil convenable; 5, les couteaux qui le coupent à la longueur voulue; 6, 7, 8, pièces qui conduisent le fil aux deux doigts 9 et 10, qui le replient carrément et l'enfoncent dans les trous percés dans le ruban;

11, l'outil *perceur* qui oscille autour d'un axe horizontal; 12, le *croqueur* qui replie les dents placées dans le ruban, qui sont ainsi *boutées*, c'est-à-dire soutenues, boutées en avant; 13, came dont la forme et l'emplacement détermine le genre de la carde; 14, roue à saillies qui met en mouvement un rochet 15, qui fait mouvoir la roue 16, qui fait monter le ruban quand les dents sont placées, en raison du degré de finesse, du nombre de dents pour l'unité de surface; 17, poulie mettant en mouvement la poulie 18, qui prend la carde finie et l'envoie dans le tambour D.



Inutile de décrire les relations mutuelles de mouvement de ces divers organes, bien faciles à concevoir, ce qui n'empêche pas leur détermination exacte et la construction parfaite de ces élégantes machines d'être un véritable chef-d'œuvre de la mécanique moderne. Quant à la puissance et à la légèreté de ces mouvements nous en donnerons idée en disant que ces machines placent de 2 à 300 dents par minute.

L'Exposition de 1855 montrait des machines à bouter les cardes qui produisaient encore plus rapidement que celle-ci; mais en réalité elles consistaient en plusieurs machines qui boutaient simultanément sur le même ruban. Il nous semble que l'on doit tendre à simplifier le jeu des organes, pour mettre leur fonctionnement à l'abri de tout accident, plutôt qu'à les compliquer pour atteindre une production plus rapide par la pose d'un plus grand nombre de dents à la fois; avantage que le moindre accroissement, dans les temps d'arrêt, rend bien facilement illusoire.

CÉRAMIQUE. Voy. DÉCORATION DES POTERIES.

CHALEUR (PRODUCTION DE LA). Voy. PRODUCTION DE LA CHALEUR.

CHALEUR LATENTE. La découverte des phénomènes compris sous ce nom constitue l'un des plus beaux progrès de la physique moderne. Ce sont les travaux de Black, professeur à l'université de Glasgow, qui ont fourni à Watt, qui suivait son enseignement, la théorie qui lui a fait trouver le condenseur isolé, et le firent réussir dans sa transformation de la machine à vapeur demeurée jusqu'alors si grossière.

On donne le nom de chaleur latente au phénomène consistant en ce que, près du point de liquéfaction d'un corps solide ou de vaporisation d'un liquide, la température du corps ne change pas, bien qu'on communique au corps chauffé des quantités de chaleur considérables. L'absorption, la dissimulation de chaleur qui se fait alors, et qui, comme nous le verrons à l'article CHALEUR SPÉCIFIQUE, n'est pas limitée aussi absolument qu'on le répète trop souvent, au degré qui correspond au point de fusion ou de volatilisation, a lieu pour une certaine quantité qu'on appelle la chaleur latente.

La fusion ou la solidification partielle d'un solide préalablement liquéfié, la vaporisation ou la condensation partielle d'un liquide préalablement vaporisé, sont, on le voit, des moyens parfaitement sûrs d'obtenir des températures constantes, dont l'industrie fait un fréquent et excellent usage.

Chaleurs latentes de fusion. — Un des premiers et plus curieux résultats de la conception d'équivalence de la chaleur et du travail, est l'analyse très-satisfaisante qu'elle fournit du phénomène calorifique qui accompagne le changement d'état des corps, et qui, dans la manière de raisonner reçue jusqu'ici en phy-

sique, avait quelque chose d'incompréhensible, puisqu'elle conduisait à admettre que la chaleur cessait d'avoir alors ses attributs ordinaires sans cesser d'exister. La fusion, c'est-à-dire la destruction des cohésions moléculaires qui constituent le corps solide, coïncident avec la consommation de chaleur dite latente; presque évidemment et nécessairement d'après la loi d'équivalence, cette quantité de chaleur correspond au travail nécessaire pour rompre la totalité des cohésions moléculaires qui réunissent les molécules entre elles. Cette rupture subite consomme une quantité de travail comme de chaleur considérable.

Si donc on veut comparer ensemble des corps solides, au point de vue du travail accompli par les forces de cohésion qui réunissent leurs molécules (pour des températures différentes toutefois, celles de fusion de chaque corps), il suffira de connaître leurs chaleurs latentes pour l'unité de poids et de les multiplier par 140, en admettant cette valeur de l'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR, pour avoir la quantité de travail qui pourrait détruire toutes les cohésions moléculaires.

Nous donnons ici la table des chaleurs latentes, la moins incomplète que nous connaissions. Elles ont été obtenues à l'aide de la méthode des mélanges, c'est-à-dire en plongeant dans de l'eau, dont on mesure la variation de température, le corps fondu échauffé seulement jusqu'au point de fusion. Les recherches des physiciens ne peuvent manquer d'étendre cette table, car elle est indigne de l'état actuel de la science, et la chaleur latente de tout corps devrait être déterminée avec précision, car c'est une donnée très-précieuse qui est essentielle pour le définir :

Corps.	Chaleur latente pour 1 kil. en calories.	Travail nécessaire pour la rupture des cohésions moléculaires.
Glace	79,25	11095 kil. mèt.
Phosphore.	5,03	704
Soufre.	9,37	1311,80
Azotate de soude. .	62,98	8817
Azotate de potasse.	47,37	6631,80
Chlorure de calcium	40,70	5698
Phosphate de soude.	66,80	9352
Étain.	14,25	1995
Bismuth	12,64	1769,60
Plomb	5,37	751,80
Zinc.	28,13	3938
Cadmium.	13,58	1901
Argent.	21,07	2949,80

Ces chiffres doivent avoir une relation avec les coefficients d'élasticité, pour les mêmes corps ; c'est ce que nous avons vu à l'article CALORIE, en rapportant les intéressantes recherches de M. Person. Elles vérifient, en outre, le principe fondamental dont nous partons ici, que le travail correspondant à l'unité de chaleur est une quantité constante.

La quantité de chaleur qui, disait-on, devient latente, qui disparaît lors de la fusion des corps, est égale à celle qui est dégagée, qui est produite, lorsque le corps se solidifie, passe de l'état liquide à l'état solide : ce sont là deux phénomènes identiques et inverses l'un de l'autre. L'interprétation forcée de ce phénomène, c'est que le travail des forces d'attraction moléculaire est proportionnel à la chaleur dégagée.

Remarquons qu'il s'agit ici des corps dans l'état où on les rencontre en général, et que s'ils se présentent à des états différents, par suite avec des cohésions moléculaires différentes, leur chaleur latente varie également. Tel est, par exemple, le soufre, auquel on peut donner par la trempe l'état de soufre mou, et qui doit vis-à-vis du soufre durci se comporter comme n'ayant pas dégagé toute la chaleur de solidification. C'est ce que les expériences de M. Regnault ont établi pour le soufre d'une manière parfaitement claire, en prouvant que le soufre mou dégage de la chaleur en passant à l'état de soufre cassant. Lors de la cristallisation, mode de cohésion particulier, il se produit des effets de même nature.

Chaleurs latentes de vaporisation. — Le phénomène de la chaleur latente se produit non-seulement lors de la fusion des corps solides, lors de la rupture des cohésions moléculaires par l'effet de la chaleur, mais encore lorsque celle-ci, appliquée à un liquide, le transforme en vapeur, et communique à ses molécules une force répulsive, ou mieux un mouvement vibratoire permanent, suivant une hypothèse très-plausible, qui constitue l'état gazeux.

Interprétée, à l'aide de la nouvelle théorie, à quoi répond la chaleur latente de vaporisation? Évidemment au travail mécanique capable de liquéfier, par compression, la vapeur produite. Ce sont là des effets de chaleur et de travail mécanique inverses et identiques qui, par suite, correspondent à des effets de chaleur et de travail liés entre eux par la relation d'équivalence qui donne ainsi la clef de la théorie des machines à feu. La chaleur ne produit pas alors la consommation d'un travail antérieur comme dans le cas de la fusion des solides, mais l'emmagasinement d'une chaleur ou d'un travail.

Ce qui précède revient à dire qu'en multipliant par 140 les nombres qui représentent les chaleurs de vaporisation, on a le travail mécanique que peut produire la conversion de l'unité de poids du liquide en vapeur. Inversement, en divisant par 140 le nombre de kilogrammètres dépensés pour liquéfier un gaz, on aura la quantité de chaleur emmagasinée dans ce gaz.

C'est en condensant de la vapeur sans changement de pression, que l'on détermine par le rapport de la quantité de chaleur transmise au réfrigérant avec le poids condensé, la chaleur latente de vaporisation. Les expériences de M. Regnault sur la vapeur d'eau fournissent un modèle excellent de ce genre de recherches.

Nous rapportons ici les peu nombreuses déterminations que l'on possède dans l'état actuel de la science et qu'il serait nécessaire de multiplier :

	Point d'ébullition.	Chaleur latente pour 1 kil.	Travail correspondant.
Eau.	100	534	74940 kil.
Éther sulfurique. .	38	91	12749
Éther acétique. . .	74	106	16840
Esprit de bois. . . .	66,5	264	36960
Alcool.	78	208	29120
Essence de térébent.	156	68,71	9618
Acide sulfurique. . .	—	94	13160
Acide acétique. . .	120	102	14280
Acide formique. . .	100	169	23660
Acide butyrique. . .	164	115	16100
Acide valérique. . .	175	104	14560
Essence de citron. .	165	70	9800

La liquéfaction des gaz est l'effet directement inverse de la vaporisation et doit être étudiée au même point de vue. Nous lui consacrons un article spécial. (Voir LIQUÉFACTION.)

Emploi des chaleurs latentes pour produire le froid. — *Mélanges réfrigérants.* — La connaissance des chaleurs latentes, combinée avec celle des chaleurs spécifiques du produit, peut servir à calculer la température finale des mélanges réfrigérants. Ainsi soit un mélange de m parties en poids de glace pilée, et n parties d'azotate de soude, on aura entre ces quantités et les chaleurs latentes, C étant la chaleur spécifique du liquide qui se produit et T sa température :

$$-m \times 79 - n \times 67 = -(m+n)CT.$$

Supposons C très-voisin de l'unité, on aura :

$$-T = -\frac{m \times 79 - n \times 67}{m + n}$$

T étant le nombre de degrés au-dessous de zéro.

Si la quantité C T est constante, elle se produit dans des temps très-différents, et par suite T varie avec ce temps, la consommation de chaleur par les corps refroidis par le contact du mélange réfrigérant ayant lieu d'autant plus rapidement que le mélange des matières est plus intime, que la réaction mutuelle qui détermine la fusion s'exerce plus facilement. C'est pour cela qu'on trouve grand avantage à piler les substances et à agiter le mélange, ce qui augmente les surfaces.

Une limite de la température T est d'ailleurs déterminée par celle du point de congélation du mélange. Aussi le moyen par excellence pour obtenir des froids intenses est non-seulement d'employer des substances qui soient en contact immédiat, mais encore de ne pas partir de la glace qui agit avec difficulté pour produire des températures beaucoup inférieures à zéro. On l'a trouvé dans l'emploi de la chaleur de vaporisation d'un corps naturellement gazeux. C'est de ce moyen bien plus puissant dont nous allons parler.

Acide carbonique solide et éther. — Depuis la belle découverte de Thilorier pour obtenir en abondance l'acide carbonique solide, on a pu s'en servir pour obtenir des froids très-intenses en en faisant une pâte avec de l'éther qui favorise la vaporisation, et soumettant le tout à l'action d'une puissante machine pneumatique qui maintient une pression très-faible. Il est facile de se rendre compte de cet effet.

Soit cette pression $\frac{1}{20}$ de la pression atmosphérique, soit 3,80 cent. de mercure : quelle sera la température correspondante? Le travail auquel correspondra 1 kilog. d'acide carbonique solide sera :

— Chal. lat. de fusion — chal. lat. de vaporisation
$= - T \times C.$

Or la chaleur latente de vaporisation est égale au travail que peut produire la liquéfaction du gaz, et pour une compression de $\frac{1}{20}$ d'atmosphère à 36 atmosphères sera par litre à la pression atmosphérique (Voy. LIQUÉFACTION) $P_0 V_0$ (2 + log. hy. 720), car $\frac{V_1}{V_0} = 20 \times 36$ ou $10330 \times 7{,}58 = 78{,}30$ pour 1 litre pesant 2 grammes à peu près, soit pour 1 kilog., 39150 kilog. mèt. ou en divisant par 140, 279 calories. C étant la chaleur spécifique de l'acide carbonique égale à 0,22, d'après Delaroche et Bérard, on aura, en négligeant la chaleur de fusion qui est petite relativement à celle de vaporisation :

$$-279 = -T \times 0{,}22.$$

L'abaissement de température peut donc être extrêmement considérable, et n'est limité que par le fait physique de la non-vaporisation du gaz carbonique, à la température si basse ainsi produite. Dans le cas ci-dessus, on obtient pratiquement la température de — 107°, froid très-intense, mais bien éloigné de la limite possible d'après les chiffres ci-dessus.

Ce résultat conduit, ce me semble, à la possibilité d'obtenir, par la même méthode, des froids indéfiniment croissants. En effet, on peut, à l'aide de la pression et de l'acide carbonique solide, liquéfier et solidifier des gaz plus réfractaires que l'acide carbonique, et qui, par suite, sur le plateau de la machine pneumatique, donneraient encore des vapeurs à des températures où celui-ci n'en donne plus. Théoriquement donc, rien ne s'oppose à ce que, par cette manière de procéder, on produise un froid supérieur à toute limite indiquée.

CHALEUR PERDUE (APPAREILS POUR UTILISER LA). Nous réunirons ici un certain nombre d'appareils qui ont ce point de ressemblance qu'ils servent à utiliser la chaleur qui, sans leur emploi, serait perdue. On comprend facilement la grande utilité de semblables dispositions. En effet, la plupart des opérations industrielles pour lesquelles on emploie la chaleur exigent des conditions spéciales, de température notamment, qui le plus souvent ne coïncident nullement avec celles d'économie, s'opposent en général à l'utilisation complète du combustible. Le problème à résoudre dans ces divers cas consiste à disposer à la suite des appareils principaux d'autres appareils accessoires, qui, sans gêner en rien la marche de l'opération principale, donnent gratuitement, en quelque sorte, l'échauffement utilisable d'autres corps. De grands progrès, dignes en tous points d'une industrie avancée, ont été réalisés en France depuis quelques années dans cette direction.

Nous les passerons en revue sous trois divisions :

1° Fourneaux à température élevée tels que ceux des usines à fer, abandonnant le plus souvent dans l'air une grande quantité de gaz combustibles non utilisés ;

2° Chaudières et machines à vapeur sans condensation répandant leur vapeur dans l'atmosphère ;

3° Eau chaude rejetée à une température élevée, comme dans celle des bains épuisés de teinture.

1re section. — Nous avons traité ailleurs de diverses applications qui ont été faites des parties des combustibles, des gaz combustibles, qui sortent non brûlés des cheminées. Aux articles FER et COMBUSTIBLES, on a traité cette question en détail et montré comment on pouvait trouver dans l'utilisation des gaz d'un haut fourneau la quantité de chaleur suffisante pour chauffer une chaudière à vapeur pouvant mouvoir la soufflerie de ce haut fourneau.

Les fours à puddler et à réchauffer, les feux d'affinerie, dans lesquels le métal doit toujours être travaillé dans une atmosphère d'oxyde de carbone, donnent les mêmes résultats. D'après M. Grouvelle, on peut évaluer à 16 ou 18 chevaux la chaudière que l'on peut placer à la suite d'un four à puddler. Les savantes recherches de notre éminent et si regrettable collaborateur, Ebelmen (Voy. COMBUSTION), ont bien montré comment la majeure partie de la chaleur d'un combustible reste disponible lorsqu'on le brûle en grandes épaisseurs, et que par suite le produit principal de la combustion est de l'oxyde de carbone et non de l'acide carbonique. Dans des cas semblables, le progrès indiqué, et que l'on doit toujours parvenir à réaliser, consiste à brûler les gaz combustibles qui se dégagent d'un premier foyer et à produire ainsi une source de chaleur ou de force, si on emploie la chaleur à produire de la vapeur.

Il est des cas où il peut même y avoir avantage à utiliser autant que possible la totalité de la chaleur des produits de la combustion pour effectuer un travail industriel plutôt qu'à en employer une partie à produire le tirage de la cheminée ; tel serait le cas d'une usine possédant une chute d'eau considérable et payant le combustible très-cher. Dans ce cas, il peut être avantageux d'employer un TIRAGE mécanique, un ventilateur ; quant à l'utilisation de la chaleur, elle serait obtenue par des moyens analogues à ceux dont nous avons si souvent parlé. (Voy. CHAUFFAGE, CHAUDIÈRE, etc.)

2e section. — Pour cette section, nous ne saurions mieux faire que d'emprunter la description des meilleures dispositions à employer à l'excellent *Guide du Chauffeur* de M. Grouvelle, l'ingénieur qui a le plus fait pour la solution des intéressantes questions dont nous parlons :

« *Emploi de la vapeur perdue dans une machine sans*

condensation. — Lorsque les circonstances locales exigent l'emploi d'une machine sans condensation, ce qui est presque général dans les ateliers de l'intérieur des villes où l'on dispose rarement d'assez d'eau pour condenser, il se perd, avec la vapeur qui a travaillé, une quantité considérable de chaleur, dont on peut encore obtenir un important service. Dans une machine de 30 chevaux, au prix de 4 fr. les 100 kilog. de houille, la vapeur perdue équivaut à 1,500 kilog. de combustible et à 60 fr. par jour.

Chauffage de l'eau d'alimentation. — Le chauffage des ateliers, séchoirs, de l'eau destinée à alimenter la chaudière ou à tout autre usage, comme blanchiment, teintures, tels sont les premiers emplois qui se présentent. Un appareil bien disposé peut recueillir toute cette chaleur sans donner au piston une arrière-pression et, par conséquent, sans gêner en rien la marche de la machine.

« La première pensée qui se présente est de chauffer directement l'eau, en y condensant la vapeur. Mais si l'on fait plonger le tuyau d'échappement dans l'eau, on donne lieu à une arrière-pression qui charge la machine, outre qu'il se fait des claquements continuels par la condensation de la vapeur dans l'eau froide, c'est un bruit très-désagréable qui produit des ébranlements et brise les tuyaux et les appareils. Si, au contraire, la vapeur passe à la surface de l'eau, on ne chauffe pas la masse entière, parce que l'eau chaude, étant plus légère, reste à la surface, et défend les couches inférieures de l'action de la vapeur. Le chauffage est plus complet et plus égal, en faisant agir la vapeur à travers une enveloppe métallique, et un tuyau placé au fond du réservoir.

« *Mauvaise disposition d'appareil.* — Le but que se sont proposé quelques constructeurs, dans les appareils de ce genre, a été de multiplier considérablement les surfaces, et les circonvolutions que parcourent l'eau et la vapeur, afin de réduire l'emplacement occupé par l'appareil. Mais ils ont ainsi compliqué leurs dispositions sans profit, rendu les ajustements difficiles à faire et faciles à déranger.

« *Dispositions à adopter.* — Au lieu de refouler l'eau dans l'appareil de chauffage contre la pression des chaudières, il faut chauffer l'eau qui descend d'un réservoir supérieur; puis on l'aspire pour l'envoyer directement dans les chaudières, sans circulation ni choc. Le réservoir-chauffeur est placé à 2 ou 3 mètres au-dessus de la pompe, pour que la pression de la colonne d'eau soulève les clapets, qui ne s'ouvriraient pas si la pompe était obligée d'aspirer, de bas en haut, de l'eau presque bouillante; quand le corps de pompe est rempli d'eau à 60 ou 80°, la vapeur que cette eau développe, à chaque coup de piston, suffit pour remplir la capacité du cylindre, empêcher le vide de se former, et, par conséquent, l'eau de monter.

« Il faut toujours choisir des appareils très-simples pour le réchauffement de l'eau. » Nous en donnerons deux, l'un construit par M. Grouvelle et l'autre de MM. Le Gris et Choisy.

« Le premier et l'un des meilleurs est un double tuyau, dont l'un, intérieur, est en cuivre, et l'autre, extérieur, en fonte; la vapeur passe dans le tuyau central, auquel il faut donner un grand diamètre et surtout de la longueur, d'abord pour que la surface de refroidissement soit suffisante, et ensuite pour que la sortie de vapeur et le travail de la machine ne soient pas gênés; on arrondira aussi les coudes, et on évitera les étranglements.

« Dans le tuyau extérieur, circule l'eau destinée à être chauffée; on l'introduit froide à une extrémité, au moyen d'un tuyau descendant du réservoir, et après qu'elle a circulé et s'est chauffée entre les deux tuyaux en sens contraire de la vapeur, la pompe alimentaire l'appelle par son tuyau d'aspiration, qui est branché sur le tuyau de fonte.

« Cet appareil, qui chauffe en même temps de l'eau pour le blanchiment des toiles, et un séchoir, fonctionne dans la filature de lin de Gerville (Seine-Inférieure), que nous avons organisée et montée. Les calculs nécessaires à son établissement, et sa description détaillée, suffiront pour l'exécuter et en varier les applications. » (Voir le *Guide du Chauffeur.*)

Appareil de chauffage d'eau d'alimentation de MM. Legris et Choisy. — Le principe de ce système est de faire arriver l'eau froide, destinée à l'alimentation des chaudières, *très-divisée et en pluie dans une capsule percée de trous au centre du courant de vapeur perdue* d'une machine à vapeur (fig. 3453).

3453.

L'appareil consiste en un cylindre en tôle A, du haut duquel part un tuyau d'échappement de vapeur perdue, d'un diamètre proportionné à la puissance de la machine, et qui porte au dehors tout ce que le chauffage de l'eau d'alimentation n'a pas utilisé.

En bas de ce cylindre et d'un côté arrive, par un tuyau C, de même grosseur que le précédent, le jet de vapeur perdue de la machine. En face de ce jet, le courant d'eau froide destinée à l'alimentation est amené par un tuyau D et une cuvette percée de trous E qui réduit l'eau en pluie; le tuyau D est muni d'un robinet d'arrêt F.

Un peu au-dessous de l'appareil A et à côté, est un cylindre G qui sert de réservoir à l'eau, après qu'elle a été chauffée. Un flotteur H en détermine le niveau; la tige du flotteur passe à travers une boîte à étoupes, placée en haut du cylindre, et conduit, au moyen d'un levier, un robinet I qui règle l'entrée de l'eau dans le cylindre A.

Quand l'eau a été chauffée par son passage au centre du jet de vapeur, elle arrive dans le cylindre G au moyen d'un tuyau K de $0^m,27$ au moins de diamètre, du bas duquel une tubulure L, fermée par un robinet, permet d'extraire les dépôts terreux que la plupart des eaux d'alimentation laissent précipiter en s'échauffant.

L'eau ainsi chauffée est aspirée par le tuyau M de la pompe alimentaire de la machine à vapeur.

Une grande partie des carbonates calcaires tenus en dissolution dans les eaux par un excès d'acide carbonique, est précipitée dans l'appareil même, au moment où le gaz acide est chassé par l'échauffement de l'eau, et ces dépôts sont enlevés en boue par le robinet L. Quoique tous les sels calcaires ne soient pas entièrement éliminés dans cet appareil, les dépôts qu'on en retire avec des eaux fortement chargées, sont déjà considérables et très-importants pour la conservation des générateurs. Avec quelques eaux de Paris, les dépôts sont si abondants dans le tuyau A, qu'il s'est quelquefois bouché et a amené des ruptures graves de pièces dans la machine, en remplissant le cylindre d'eau.

L'appareil donne de très-bons résultats et ne se dérange pas. L'eau y est évidemment très-bien chauffée; seulement il ne faut pas pousser l'échauffement trop loin, parce que l'on serait exposé à n'avoir plus que de la vapeur au lieu d'eau dans le cylindre, ce qui supprimerait de suite le travail de la pompe alimentaire et forcerait à arrêter la machine à vapeur pour pouvoir laisser refroidir l'appareil de chauffage d'eau.

M. Grouvelle indique encore une excellente utilisation de la vapeur sortant d'une machine à haute pression, c'est de l'employer à chauffer l'eau d'une circulation d'eau par une disposition analogue à celle qu'il donne pour la boulangerie des hôpitaux, par l'emploi du système de chauffage par la combinaison de l'eau et de la vapeur, qu'il a employé à la prison Mazas, et qu'il a décrit en détail à l'article CHAUFFAGE de cet ouvrage. C'est encore là une utile et heureuse application de cette ingénieuse combinaison.

Avec ce mode d'utilisation de la chaleur, comme toutes les fois qu'une usine emploie de grandes quantités d'eau chaude, on peut tirer parti de toute la chaleur perdue à la sortie d'une machine à vapeur, tandis que les appareils limités à chauffer l'eau d'alimentation n'en utilisent nécessairement qu'une partie. Ainsi la chaleur de la vapeur d'eau à 5 atmosphères est de 650 calories, et par suite, si l'on alimente avec de l'eau à 10°, il faut que le foyer lui communique 640 unités de chaleur; cette quantité est réduite à 340, si l'on alimente avec de l'eau à 100°. La limite de l'économie que peuvent fournir ces appareils est donc de $\frac{30}{64} = 46\frac{7}{8}$ pour 100, quand on n'a pas d'autre emploi de l'eau chaude.

3e *section.* — Eau chaude rejetée à une température élevée.

Dans certaines industries, dans les teintureries notamment, on emploie des quantités considérables d'eau chaude, qu'il faut rejeter quand l'opération est terminée. Pendant longtemps on a ainsi laissé perdre des quantités de chaleur très-considérables, et ce n'est que depuis quelques années que l'on s'est appliqué à les utiliser.

Lorsqu'il s'agit d'eau pure, comme l'eau de condensation de machines à vapeur, le meilleur emploi est de l'appliquer à des opérations pour lesquelles l'eau pure est constamment et partout employée, les bains et les lavoirs notamment. On peut encore faire circuler cette eau dans des tuyaux pour établir avec elle un chauffage de l'air par l'eau chaude. M. Grouvelle donne, dans son *Guide du Chauffeur*, le devis et les conditions d'établissement d'un pareil chauffage, conditions qui sont celles indiquées à l'article CHAUFFAGE, avec cette observation toutefois que, la température de l'eau de condensation ne dépassant pas 40°, il faudrait doubler pour le moins l'étendue des surfaces métalliques qui chauffent l'air.

Quand il s'agit de bains de teinture épuisés, d'évacuation d'eau saturée des chaudières à vapeur marines pour éviter les incrustations, il faut mettre en contact l'eau chaude expulsée avec l'eau froide destinée au travail ultérieur, de manière toutefois à éviter tout mélange, c'est-à-dire à travers des surfaces métalliques. Le mode d'opérer est indiqué à l'article DÉPLACEMENT, c'est-à-dire que l'eau chaude doit rencontrer l'eau de plus en plus froide. La disposition la plus naturelle consiste à faire sortir l'eau chaude par un tuyau enveloppé d'un autre de plus grand diamètre, que parcourt l'eau froide entrant par l'extrémité opposée. On peut arriver à un résultat complet en allongeant les tuyaux, mais ces dispositions causent bien souvent des engorgements nuisibles. »

M. Piment (de Rouen) a parfaitement résolu le problème en multipliant les surfaces à l'aide de caisses successives métalliques à double fond et larges passages dans ses appareils dits *caloridores*. Nous donnerons idée de l'importance des résultats qu'il obtient en disant qu'ayant établi à ses frais un appareil dans la blanchisserie de MM. Dolfus, Mieg et Cie, à Dornach, près Mulhouse, à la condition de profiter des économies qu'il procurerait pendant trois années, ces messieurs ont eu à lui solder une somme de 41,424 fr., correspondant à 63,500 litres d'eau chauffée à 98 degrés centigrades, chaque jour de travail, pendant trois ans, sans dépense de combustible.

CHALEURS SPÉCIFIQUES. On appelle chaleur spécifique d'un corps ou capacité pour la chaleur de ce corps, la quantité de chaleur, le nombre de calories qu'il faut communiquer au kilogramme de ce corps pour élever sa température de 4°.

La question des chaleurs spécifiques a toujours été une des plus ardues de la physique. L'existence de plusieurs lois importantes entrevues expérimentalement et non expliquées, la nécessité de poser, dans quelques cas, des hypothèses peu justifiées pour expliquer des résultats de l'analyse mathématique, fondés eux-mêmes sur des principes contestables, ont fait régner une obscurité regrettable sur cette partie importante de la physique. Je crois être parvenu à la faire disparaître heureusement, par l'application à cette théorie de la notion d'équivalence du travail mécanique et de la chaleur, de leur métamorphose mutuelle lors de la production d'actions moléculaires, en tenant compte des effets mécaniques produits en même temps que les phénomènes calorifiques. Ce résultat est un des plus utiles que l'on puisse déduire de la nouvelle théorie, et je vais m'efforcer d'élucider autant que possible, avec son aide, la question des chaleurs spécifiques des corps.

Je passerai successivement en revue les liquides, les solides, les vapeurs et enfin les gaz.

CHALEURS SPÉCIFIQUES DES LIQUIDES.

Les molécules des liquides pouvant être considérées comme n'exerçant pas d'actions mutuelles les unes sur les autres, comme cela a lieu pour les solides, les chaleurs spécifiques des liquides doivent être considérées comme celles des molécules chimiques mêmes, aucune résistance ne venant s'opposer aux effets de la chaleur employée à échauffer les liquides. Aussi, lorsqu'on se tient à une distance suffisamment grande du point de vaporisation, et qu'il ne s'agit pas de liquides très-volatils pour lesquels seuls l'effet dû à la vaporisation qui tend à se produire par l'échauffement n'est plus négligeable, la chaleur spécifique des liquides est constante; il n'y a pas production de travail mécanique par la chaleur venant détruire un travail antérieur ou surmonter une résistance extérieure. C'est ce que prouve le tableau suivant d'expériences faites avec le plus grand soin par M. Regnault, par la méthode des mélanges, c'est-à-dire en plongeant le corps chauffé à une température déterminée dans de l'eau à une température également déterminée, dont l'échauffement après le mélange est observé.

NOMS DES SUBSTANCES.	CAPACITÉS		
	de 20 à 15°	de 15 à 10°	de 10 à 5°
Eau distillée	1	1	1
Essence de térébent.	. . . . .	0,4672	
Dissolution de chlorure de calcium. .	0,6462	0,6389	0,6423
Alcool ordinaire n° 1	0,6725	0,6651	0,6588
—plus étendu n° 2	0,8518	0,8429	0,8523
—encore plus ét. n° 3	0,9752	0,9682	0,9770
Acide acétique . . .	0,6589	0,6577	0,6609
Acide acétique cristallisable	0,4618	0,4599	0,4587
Mercure	0,0290	0,0283	0,0282
Térébène.	0,4267	0,4156	0,4154
Essence de citron. .	0,4504	0,4424	0,4489
Pétrolène.	0,4342	0,4325	0,4324
Benzine.	0,3932	0,3865	0,3999
Chlorure de silicium	0,1904	0,1904	0,1914
—de titane.	0,1828	0,1802	0,1810
Proto-chlorure de phosphore.	0,1994	0,1987	0,2017
Sulfure de carbone.	0,2206	0,2183	0,2179
Éther.	0,5157	0,5158	0,5207
Éther oxalique. . .	0,4554	0,4524	0,4629
—iodhydrique . . .	0,1569	0,1556	0,1574
—bromhydrique . .	0,2153	0,2135	0,2164
Esprit de bois. . . .	0,6009	0,5868	0,5901
Chlorure de soufre.	0,2038	0,2024	0,2048

Tout porte à croire que la liberté du mouvement des molécules liquides permet à la chaleur d'y produire des mouvements orbitaires emmagasinant une quantité de forces vives croissant avec la température. Nous allons voir comment l'absence d'attractions moléculaires est la cause de ce que la chaleur spécifique du liquide est plus grande que celle du solide qui lui a donné naissance par sa fusion.

CHALEURS SPÉCIFIQUES DES SOLIDES.

L'échauffement des solides diffère de celui des liquides en ce que, outre l'échauffement propre à leurs molécules, la chaleur produit un travail mécanique qui les sépare, qui diminue les cohésions moléculaires. C'est là un principe fondamental qu'il importe de faire entrer dans la science.

Au reste, si j'y arrive par des déductions théoriques, M. Regnault y est arrivé d'une manière bien plus indiscutable par la voie expérimentale. Voici ses expressions :

« La capacité calorifique des corps, dit-il, se compose de leur capacité calorifique proprement dite et de la chaleur que ces corps absorbent à l'état de chaleur latente en augmentant de volume. Le résultat donné par l'expérience est donc un résultat complexe, dans lequel, heureusement, la chaleur spécifique domine assez pour que la loi élémentaire ne soit pas complétement voilée. »

Remarquons que cette chaleur latente dont parle ici M. Regnault, que l'on pourrait appeler, dit-il, chaleur latente de dilatation, n'est pas celle constatée lors de la fusion, mais une partie qui correspond aux écartements des molécules et qui est absorbée lors de la dilatation. Sa valeur doit aller en croissant à mesure qu'elle s'approche du point où elle devient, au degré de fusion, la chaleur latente ordinairement considérée, et dont la valeur est considérable.

Pour voir comment les choses se passent, élevons sur une ligne droite, divisée en degrés, des lignes proportionnelles aux chaleurs spécifiques qui correspondent aux diverses températures, et par leurs extrémité faisons passer une courbe.

Cette courbe atteindra son maximum pour le point A, correspondant à la température de la fusion du corps, car la chaleur latente n'est, en quelque sorte, que la chaleur spécifique du dernier degré qui correspond à la fusion, et comprend la destruction de la majeure partie du travail des cohésions moléculaires. Pour les degrés qui le précèdent immédiatement, les chaleurs spécifiques sont également très-grandes, car on sait que la désagrégation du corps ne se fait pas brusquement, qu'il commence par se ramollir, devenir pâteux. A cause de la continuité évidente de ces effets, il n'est pas douteux que la courbe va en s'élevant vers le point A, sans que nous puissions déterminer sa forme, intimement liée à celle de la fonction inconnue qui représente les variations de l'attraction moléculaire en raison de la distance qui sépare les molécules.

L'expérience nous montre que, pour des distances très-grandes du point de fusion des corps, la courbe a bien l'inclinaison croissante que nous admettons, bien que celle-ci soit très-faible, que la longue branche se rapproche beaucoup d'une ligne droite parallèle à l'axe des x. Voici d'abord des résultats obtenus par M. Pouillet pour le platine :

Températures.	Capacités moyennes.
100°	0,03350
300°	0,03434
500°	0,03518
700°	0,03602
1000°	0,03728
1200°	0,03818

Voici une autre série d'expériences s'appliquant à des corps différents. Elle est due à Dulong et Petit, et a été exécutée, comme la précédente, par la méthode des mélanges :

Noms des substances.	Capacités moyennes entre 0 et 100°.	Capacités moyennes entre 0 et 300°.
Platine	0,0335	0,0355
Antimoine	0,0507	0,0547
Argent	0,0557	0,0611
Zinc	0,0927	0,1015
Cuivre	0,0940	0,1013
Fer.	0,1098	0,1218
Verre.	0,1770	0,1900

Les observations rapportées ci-dessus sont donc bien d'accord avec ces résultats ; toutefois elles sont incomplètes, en ce qu'elles ne mènent pas à la mesure des phénomènes qui accompagnent la désagrégation partielle du solide, ce qui est possible, au moins pour la majeure partie, pour les actions moléculaires produisant un travail manifesté par les dilatations et dont l'étude des allongements élastiques des corps fournit l'expression, dans les limites considérées ici. On peut tenir compte par suite de la partie de cette chaleur latente qui produit un travail mécanique déterminé.

On doit donc considérer la chaleur spécifique d'un corps solide comme composée de deux parties, l'une c qui est la chaleur spécifique propre à la molécule qui ne se déplace pas d'une quantité finie, l'autre $\frac{T}{E}$, T étant le travail mécanique qui serait nécessaire pour produire le même écartement des molécules que celui qui répond à un échauffement de 1°, E l'équivalent mécanique de la chaleur; cette quantité $\frac{T}{E}$ de chaleur est donc celle qui répond à la partie de la chaleur qui produit un effet mécanique et qui disparaît par suite, en tant que chaleur sensible.

Nous poserons donc, c étant la chaleur spécifique

$c = a + \frac{T}{E}$, et si nous considérons deux molécules m, m' de deux corps différents, nous aurons la relation $mc - m'c' = ma - m'a' + \frac{dT - dT'}{E}$, dT, dT' étant les différentielles du travail mécanique, le travail élémentaire pour chaque molécule.

D'où cette conséquence remarquable que, pour des corps de constitution semblable, c'est-à-dire au point de vue physique, ayant des atomes semblablement groupés, si les parties des chaleurs spécifiques que nous représentons par a et a', et qui sont indépendantes des variations des forces moléculaires, représentées par dT, dT', sont en raison inverse des masses, on aura sensiblement $mc = m'c'$, la différence $dT - dT'$ étant en général infiniment petite par rapport à E. C'est là le célèbre loi de Duleng restée comme une énigme jusqu'à ce jour dans la science, sans qu'on ait rien tiré d'un aussi capital résultat d'expériences, sans doute parce qu'il n'avait pas de sens avec l'ancienne manière de concevoir les phénomènes calorifiques. Il vient, au contraire, fournir un point d'appui très-précieux aux nouvelles théories. En effet, la molécule d'un corps solide étant, sous l'influence des diverses attractions moléculaires qui la maintiennent en place, en équilibre comme l'est un pendule soutenu par un fil contre l'action de la gravité, les mouvements vibratoires que pourra lui communiquer la chaleur, sont en partie indépendants de la grandeur des attractions en jeu, comme les mouvements d'oscillation du pendule de la valeur de g dans le cas pris pour comparaison, les effets propres de la variation de ces forces étant surtout compris dans le terme dT. Ils seront, au milieu des attractions moléculaires qui tendent à les diminuer, proportionnels à la masse, de la même manière qu'un pendule lourd se ralentit moins vite qu'un pendule léger, sous l'influence des résistances, et à la quantité de chaleur communiquée, c'est-à-dire aux produits ma, $m'a'$.

Nous supposons ici qu'il s'agit de mouvements d'atomes simples. Comment la loi varie-t-elle, lorsque les groupes d'atomes deviennent complexes? Il est curieux de remarquer (et je suis étonné que cela n'ait pas été fait) que les effets se rapprochent beaucoup de la proportionnalité avec le nombre de molécules constituantes de chaque groupe. La règle constatée par les recherches de Newman et de M. Regnault pour vérifier et étudier la loi de Dulong se formule ainsi :

Dans tous les corps composés, de même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.

Ainsi des sulfures renfermant deux atomes comme des oxydes formés également de deux atomes auront des capacités chimiques telles que $ma - m'a'$ soit presque nul et, par conséquent, la loi vérifiée; mais les quantités mc, $m'c'$, pas plus que celles ma, $m'a'$, ne seront nullement les mêmes dans les divers cas, lorsqu'on comparera ces quantités à celles analogues obtenues pour des corps de composition différents.

C'est ce que rend bien clair le tableau ci-après des principaux résultats obtenus expérimentalement par M. Regnault.

Noms des substances.	Capacités.	Poids atomiques. L'atome d'oxygène étant 100.	Produit.
Fer.	0,11379	339,21	38,597
Zinc	0,09555	403,23	38,526
Cuivre	0,09515	395,70	37,849
Cadmium.	0,05669	696,77	39,502
Argent	0,05701	675,80	38,527
Arsenic.	0,08140	470,04	38,261
Plomb.	0,03140	1294,50	40,647
Bismuth	0,03084	1330,37	41,034
Antimoine.	0,05077	806,45	40,944
Étain des Indes. .	0,05623	735,29	41,345
Nickel.	0,10863	369,68	40,160
Cobalt.	0,10696	368,99	39,468
Platine laminé . .	0,03243	1233,50	39,998
Palladium.	0,05927	665,90	39,468
Or	0,03244	1243,01	40,328
Soufre.	0,20259	201,17	40,754
Phosphore (pas très-pur)	0,1887	196,14	37,024
Sélénium	0,0837	494,58	41,403
Tellure	0,05155	801,76	41,549
Iode.	0,05412	789,75	42,703
Mercure.	0,03332	1265,82	42,149
Oxydes RO.			
Protoxyde de plomb en poudre. . . .	0,05118	1394,5	71,34
—fondu.	0,05089	1394,5	70,94
Oxyde de mercure.	0,05179	1365,8	70,74
Protoxyde de manganèse	0,15701	445,9	70,01
Oxyde de cuivre. .	0,14201	495,7	70,39
—de nickel.	0,16234	469,6	76,24
—calciné	0,15885	469,6	74,60
Magnésie	0,24394	258,4	63,03
Oxyde de zinc. . .	0,12480	503,20	62,77
Oxydes R^2O^3.			
Peroxyde de fer (fer oligiste).	0,16695	978,4	163,35
Colcothar peu calciné.	0,17569	978,4	171,90
—calciné deux fois.	0,17167	978,4	168
—fortement calciné une 2me fois. . .	0,16814	978,4	164,41
Acide arsénieux. .	0,12786	1240,1	158,56
Oxyde de chrome.	0,17960	1003,6	180,01
—de bismuth . . .	0,06053	2960,7	179,22
—d'antimoine. . .	0,09009	1912,9	172,34
Alumine (corindon)	0,19762	642,4	126,87
—(saphir).	0,21732	642,4	139,61
Oxydes RO^2.			
Acide stannique. .	0.09326	935,3	87,23
—titanique (artific.)	0,17164	503,7	86,45
— — (rutile).	0,17032	503,7	85,79
—antimonieux. . .	0,09535	1006,5	95,92
Sulfures RS.			
Proto-sulfure de fer	0,13570	540,4	73,33
Sulfure de nickel.	0,12813	570,8	73,15
—de cobalt	0,12512	570,0	71,31
—de zinc	0,12303	604,4	74,35
—de plomb. . . .	0,05086	1495,6	76,00
—de mercure . . .	0,05117	1467,0	75,06
Proto-sulf. d'étain.	0,08365	936,5	78,34
Sulfures R^2S^3.			
Sulf. d'antimoine.	0,08403	2216,4	186,24
—de bismuth . . .	0,06002	3264,2	195,90
Chlorures R^2Cl^2.			
Chlorure de sodium	0,21401	733,5	156,97
—de potassium . .	0,17295	932,5	161,19
—de mercure. . .	0,05205	2974,2	154,8
—de cuivre. . . .	0,13827	1234,0	156,83
—d'argent.	0,09109	1794	163,42
Chlorures RCl^2.			
Chlorure de barium	0,08957	1299	116,34
—de strontium . .	0,11990	989,9	118,70
—de calcium . . .	0,16420	698,6	114,72

Noms des substances	Capacités.	Poids atomiques. L'atome d'oxygène étant 100.	Produit.
Chl. de magnésium	0,19460	604,0	118,54
—de plomb. . . .	0,06641	1737,4	115,35
—de mercure. . .	0,06889	1708,4	117,68
—de zinc.	0,13618	845,8	115,21
—d'étain	0,10164	1177,9	119,59
Nitrates $Az^2O^5 + R^2O$.			
Nitrate de potasse .	0,23875	1266,9	302,49
—de soude	0,27821	1067,9	297,13
—d'argent	0,14352	2128,6	305,55
Sulfates $SO^3 + RO$.			
Sulfate de baryte. .	0,11285	1458,1	164,54
—de strontiane . .	0,14279	1148,5	164,04
—de plomb. . . .	0,08723	1895,7	165,39
—de chaux	0,19656	857,2	168,49
—de magnésie. . .	0,22159	759,5	168,30
Carbonates $CO^2 + R^2O$.			
Carbon. de potasse.	0,21623	865,0	187,04
—de soude. . . .	0,27275	666,0	181,65
Carbonates $CO^2 + RO$.			
Carbonate de chaux (spath d'Irlande)	0,20858	631,0	131,61
—(arragonite). . .	0,20850	631,0	131,56
Marbre saccharoïde blanc.	0,21585	631,0	136,20
—gris.	0,20989	631,0	132,45
Craie blanche. . .	0,21485	631,0	135,57
Carbon. de baryte.	0,11038	1231,9	135,99
—de strontiane . .	0,14483	922,3	133,58
—de fer	0,19345	714,2	138,16
—de plomb	0,08596	1669,5	143,65
Dolomie.	0,21743	582,2	126,59

On voit que cette belle série d'expériences établit parfaitement le principe posé. Les principales variations qu'on y rencontre se rapportent à des états de cohésion moléculaire particuliers, tels que ceux résultant de l'écrouissage pour les métaux, de la cristallisation ou de la calcination qui produisent des effets opposés. Elles prouvent ainsi indirectement que le phénomène des chaleurs spécifiques dans les corps solides se rapporte pour une grande partie à l'état d'agrégation des corps.

Relation entre les chaleurs spécifiques des solides et leur élasticité.

Si nous considérons un corps solide constitué seulement par l'effet des forces moléculaires, c'est-à-dire préalablement fondu comme les principaux métaux, le plomb, l'étain, par exemple, on peut établir une relation entre leur chaleur spécifique et leur élasticité. Appelant K la charge capable d'allonger le corps de la quantité δ égale à sa dilatation linéaire, $K\delta$ sera le travail correspondant en réalité à l'échauffement de 1°; le poids K sera le poids qui serait remonté, s'il était suspendu à l'extrémité de ce corps, lors de son refroidissement de 1°, puisque la chaleur communiquée produit l'allongement élastique δ; les effets seraient égaux, les forces qui agissent dans les deux cas le long du même chemin sont donc égales.

Nous pouvons donc trouver une expression de la quantité T indiquée plus haut, et poser l'équation ci-après qui représente le résultat que l'on doit trouver par la méthode des mélanges en plongeant le corps chaud dans un liquide froid, lorsque le retrait dû au refroidissement restitue la chaleur qui répond au travail mécanique de la dilatation :

$$c = a + \frac{3K\delta}{E}\left(\frac{1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Nous multiplions le second terme par $\left(\frac{1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}$, parce que les chaleurs spécifiques étant prises pour le kilogramme, les efforts doivent être calculés pour le solide, dont le volume répond à 1 kilog. Or d étant la densité, V le volume, on aura donc $Vd = 1$ et $V = \frac{1}{d}$.

Le côté du parallélipipède du volume V sera donc $\sqrt[3]{\frac{1}{d}}$ et sa face $\left(\frac{1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}$. Le travail doit être pris pour 3 faces pour représenter la dilatation cubique due à la chaleur ; on devra donc multiplier par 3 le travail de l'allongement.

La valeur même de E, que nous appelons ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR, nombre qui joue un rôle si important, peut se déduire du même ordre de considérations sans se servir de l'expérimentation directe qui peut permettre de le déduire de la formule ci-dessus.

Les valeurs de K, des charges, qui produisent des allongements élastiques, conduisent à la valeur du coefficient d'élasticité P, qui est la valeur de la résultante des actions moléculaires. J'insiste un instant sur cette définition du coefficient d'élasticité, qui peut paraître étrange, mais qui, plus claire que celles habituellement employées, est en réalité équivalente.

Supposons le corps ayant la longueur 1 remplacé par un ressort à boudin de même hauteur, et tel que pour les charges qui produisent les allongements élastiques, le ressort rentre d'une longueur précisément égale à celle de ces allongements. Les deux systèmes élastiques sont identiques dans toute l'étendue où l'on peut les suivre, et le seraient évidemment toujours si des ruptures locales ne venaient altérer l'élasticité du corps. Mais en suivant le phénomène sur l'espèce de contre-épreuve que présente le ressort, on voit que sa rentrée totale, qui correspond à l'allongement virtuel du corps d'une longueur égale à 1, est la totalité des forces élastiques du ressort, et précisément égale à P, au coefficient d'élasticité.

Ceci admis, et en suivant ce qui a été dit précédemment, si au lieu de laisser le corps libre, on lui fait rencontrer dans sa dilatation un obstacle d'une résistance égale à K', il se transformera en travail une quantité de chaleur égale à $\frac{K'\delta'}{E}$ du fait du travail résistant correspondant à cet obstacle, et pour l'échauffer de 1°, on aura :

$$c = a' + \left(\frac{3\,K\delta}{E} + \frac{K'\delta'}{E}\right)\left(\frac{1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}$$

a' va donc ainsi en diminuant avec le nombre de fois qu'on multipliera des obstacles semblables. Enfin, si on suppose que le poids P soit appliqué à l'extrémité d'une barre, au lieu de K, a' deviendra nul, et on aura l'expression de toute l'action que la chaleur pourrait *virtuellement* engendrer, si elle ne produisait que travail mécanique, sans échauffement aucun. En effet, P étant égal à la résultante des actions moléculaires, un refroidissement qui met ces forces en jeu peut l'entraîner virtuellement, tout considérable qu'il est, en permettant leur effet; un poids quelque peu plus grand déformerait le corps, n'est pas admissible, surpasse la résultante des forces moléculaires, qui est l'effort maximum qu'elles puissent exercer ; un plus faible laisserait un excédant de chaleur non transformé en travail, puisqu'un plus grand travail eût pu être produit par le refroidissement. P est donc égal à l'effort maximum que pourrait produire la chaleur, si son effet était converti entièrement en travail. On connaît d'ailleurs le chemin cubique D que parcourt cet effort, le coefficient de dilatation ; on peut donc calculer le travail, et par suite l'équivalent E de la chaleur.

Le travail mécanique que peut produire la quantité de chaleur correspondant à l'échauffement de 1°, est donc $PD\left(\frac{1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}$.

Sachant d'ailleurs que la chaleur spécifique de ce corps est égale à C, si E est l'équivalent mécanique de la chaleur, nous aurons une seconde expression de la valeur de ce même travail égale par la définition même à CE ; d'où l'équation :

$$CE=DP\left(\frac{1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Cette équation, qui relie ensemble les dilatations, les chaleurs spécifiques et les densités des corps, tous éléments qui, pour un même corps, sont intimement liés les uns aux autres, nous paraît avoir une bien grande importance pour les progrès de la physique. La détermination par voie indirecte du coefficient d'élasticité de divers corps, difficile à obtenir directement (du soufre, par exemple, pour lequel je trouve 2824), la loi de la variation de cette élasticité en raison de la température sont autant de résultats précieux.

Dans l'état actuel de la science, c'est surtout à la détermination de la valeur de E, de l'équivalent mécanique de la chaleur, que cette formule est utilement applicable. Nous donnons dans le tableau suivant les résultats obtenus par l'emploi des coefficients d'élasticité donnés par M. Wertheim.

MÉTAUX.	Coefficients d'élasticité (Wertheim.)	Densités.	Chaleurs spécifiques (Regnault)	Dilatations cubiques de 0 à 100°	Équivalent mécanique de la chaleur
Plomb coulé	1993	11,24	0,031	3/351	409
Étain coulé.	4172	7,40	0,056	3/500	432
Zinc	8734	6,93	0,10	3/340	490
Cuivre . . .	10519	8,93	0,095	3/582	433
Argent . . .	7140	10,30	0,057	3/524	449
Or	5584	18,03	0,032	3/682	412
Platine . . .	15683	21,20	0,032	3/1167	465
Fer.	18613	7,55	0,1137	3/846	452
[1] Valeur moyenne de E.					444

En ne tenant pas compte du zinc, dont les dilatations et les résistances sont très-variables en raison de son état moléculaire, selon qu'il a été fondu ou laminé ou étiré, etc., ce qui rend sûrement inexact le calcul fait à l'aide de déterminations correspondant à des états différents ; on trouve E = 436, valeur très-voisine du chiffre 440, limite supérieure à laquelle nous parvenons par plusieurs voies différentes (voir ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR). Les meilleures déterminations sur métaux fondus non cristallins, plomb, étain, donnent 427.

Une objection a été faite à ce mode de calcul, c'est que l'allongement élastique ne se produit pas à la fois dans tous les sens, que celui produit dans un sens empêche la production du même effet dans le sens perpendiculaire au premier. Mais cet effet secondaire, dû probablement au resserrement des losanges formés par les molécules obliques à la direction de la traction, se rapporte à l'application réelle des forces, mais ne change rien à la valeur exacte de la résistance *virtuelle* à considérer ici. L'expérience complète n'est pas possible, mais l'équation n'en est pas moins exacte, comme la valeur de la résultante de l'attraction moléculaire qui en fait partie, bien que celle-ci dépasse infiniment la limite des résistances élastiques du corps.

Relation entre les chaleurs spécifiques et les chaleurs latentes.

Si l'on fait la somme des quantités de chaleur communiquées au corps solide jusqu'à ce qu'il atteigne le point de fusion ; la quantité de chaleur, mesurée à l'aide de la chaleur spécifique du liquide produit, l'action complète de la chaleur sur le corps supposé toujours liquide pour l'amener à cette même température, devra être la même, c'est-à-dire égale à celle mesurée à l'aide de la chaleur spécifique du solide, plus la chaleur latente qui répond à la destruction du travail mécanique emmagasiné dans le corps solide lors de la solidification des corps. En employant pour valeur moyenne de la chaleur spécifique du solide celle déterminée par une expérience faite à une température peu élevée, de quel degré faut-il partir pour faire la somme de ces quantités de chaleur ? La température zéro n'est pas aplicable ici ; pour la glace, par exemple, elle n'a pas de sens.

Dans l'impossibilité de la déterminer *à priori*, le mieux est de chercher *à posteriori* la valeur qui s'applique à un cas donné. Elle doit convenir également pour tous les corps dont les points de fusion ne diffèrent pas considérablement.

Voici les résultats que nous trouvons dans un beau mémoire de M. Person, qui a eu le talent de découvrir cette relation qui existe entre les chaleurs spécifiques des solides et celles des liquides qui proviennent de leur fusion.

Ayant posé l'équation $L=(m+N)(C-c)$, L chaleur latente, N température de fusion, C chaleur spécifique à l'état liquide, c à l'état solide, il a trouvé, par des expériences très-soignées, les résultats ci-après :

Glace. . . C=1 L=79,25 (d'après M. Desains).
c=0,504 N=0

La formule devient $m\times 0,496=79,25$, d'où $m=159,80$.

Pour ce qui suit, nous admettrons dans la formule

$$(160+N)(C-c)=L.$$

Les résultats des expériences comparés à ceux que donne la formule sont les suivants :

Phosphore. . . . . C=0,2045 N=44°
c=0,1788 L=5^c,034 la formule donne 5,243.

Soufre. . . . . . . C=0,234 N=115°
c=0,20259 L=9^c,368 la formule donne 9,350.

Azotate de soude. . C=0,413 N=310,5
c=0,278 L=61^c,975 la formule donne 63^c.

Azotate de potasse. C=0,33186 N=342°
c=0,23875 L=47^c,37 la formule donne 16,16.

La relation exprimée par l'équation ci-dessus est donc établie par la constance du nombre m, qui a une relation intime avec la température constante et peu élevée à laquelle on détermine la chaleur spécifique que l'on considère comme invariable, par la fixité du point à partir duquel on évalue ainsi d'une manière indirecte les variations moléculaires moyennes. Elle montre clairement que la différence entre les chaleurs spécifiques à

[1] Il est facile de voir que l'équation est homogène, et, par suite, le résultat obtenu en kilog. mètres. Les unités principales étant le kilogramme et le mètre, pour la valeur de E, P au lieu d'être rapporté au millimètre, devrait l'être au décimètre carré, comme C l'est au décimètre cube d'eau pour unité de chaleur, ou la valeur des tableaux multipliée par 10,000 ou par 100, en employant immédiatement les chiffres de la dilatation D pour 100°, comme je le fais. Mais le volume $=\frac{1}{d}$ doit être rapporté au mètre ou remplacé par $\frac{1}{1000\,d}$ et $\left(\frac{1}{1000}\right)^{\frac{2}{3}}=\frac{1}{100}$. Le second terme de l'équation devant être multiplié par 100 et divisé par 100 peut donc être calculé sans erreur comme nous l'avons fait ci-dessus.

l'état liquide et à l'état solide (en représentant cette dernière par deux termes comme ci-dessus) dépend de la grandeur des attractions des molécules (dont, à poids égal de ces molécules, dépend la chaleur latente) qui constituent le corps solide.

CHALEURS SPÉCIFIQUES DES VAPEURS.

Dans les vapeurs comme dans les liquides, pour des corps qui, relativement aux forces moléculaires, sont à l'état de liberté, dans lesquels rien ne s'oppose à la communication du mouvement calorifique aux molécules, les chaleurs spécifiques seraient égales si la vapeur ne produisait un travail mécanique en surmontant la pression atmosphérique. L'égalité devra se retrouver si on ajoute à la chaleur spécifique celle due au travail qui eût produit une action inverse et équivalente de compression. De l'état de vapeur et de la résistance d'une pression extérieure à son expansion, pression sans effet sur le liquide, résulte travail mécanique d'un côté et diminution équivalente de la quantité de chaleur nécessaire pour produire l'élévation de température de l'autre, la quantité de chaleur communiquée à la molécule chimique ne pouvant varier du fait du changement partiel de nature des effets produits en raison de la constitution du corps (effets qui ne sont que les résultats de la communication de la chaleur), lorsqu'il n'intervient pas d'attraction moléculaire qui seule engendre de la chaleur.

Appliquons cette considération à quelques déterminations connues.

La chaleur spécifique d'une vapeur formée par un liquide dont la chaleur spécifique est C, sera, disons-nous, égale à $C - \frac{T}{440}$.

Pour l'eau $T = 1689 \times 10,33 \times \frac{1}{267} = 65,36$ kilog. mèt. C'est là le travail que produirait la vapeur passant de 100° à 101°. On a donc :

$$c = 1 - \frac{65,36}{440} = 1 - 0,467 = 0,523.$$

M. Regnault a trouvé, par expérience directe, 0,475, tandis que Delaroche et Bérard avaient trouvé 0,84.

En faisant les mêmes calculs pour quelques vapeurs dont M. Regnault a déterminé expérimentalement les chaleurs spécifiques et calculant les volumes d'après les rapports des densités de la vapeur comparées aux densités du liquide, on arrive aux chiffres suivants :

CORPS.	DENSITÉS		CHALEURS spécifiques à l'état liquide.	CHALEURS spécifiques de la vapeur	
	du liquide.	de la vapeur.		d'après M. Regnault.	calculée.
Alcool	0,815	2,09	0,652	0,4513	0,545
Éther	0,736	3,39	0,520	0,4810	0,464
Proto-chlorure de phosphore.	1,646	6,35	0,209	0,1346	0,1388
Proto chlorure d'arsenic. . .	2,2049	8,48	0,176	0,1122	0,104
Bi-chlorure d'étain. . . .	2,267	11,05	0,1475	0,0939	0,0922

La concordance est, on le voit, assez satisfaisante. Ce ne peut d'ailleurs être qu'une approximation, parce qu'il faudrait avoir déterminé exactement la chaleur spécifique du liquide dans le voisinage de la température à laquelle l'ébullition commence, en un point où elle diffère sensiblement de celle prise à basse température.

CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ

à pression constante et à volume constant.

Toute la théorie des chaleurs spécifiques des gaz, si obscure dans l'ancienne physique, les relations si peu compréhensibles entre celles à volume constant et celles à pression constante, s'éclaircissent à la lumière des nouveaux principes.

Il ne s'agit plus alors, en raisonnant comme je viens de le faire pour les vapeurs, que d'une évaluation simple d'effets mécaniques, faciles à calculer, qui produisent des effets calorifiques.

Ainsi appelant C la chaleur spécifique du gaz liquéfié, elle sera égale à celle c du gaz à pression constante, plus la chaleur qui correspond au travail produit, c'est-à-dire la chaleur qui répond à une compression produite par une quantité de travail égale à celui produit, ou enfin sous la pression atmosphérique à $10330 \times 0,00365$ pour 1 mètre cube et $10330 \times 0,00365 \times \frac{1}{d}$, d étant la densité, le poids en kilogrammes du mètre cube. On aura donc :

$$C = c + \frac{10330 \times 0,00365 \times \frac{1}{d}}{440}$$

Quant à la chaleur c' à volume constant, l'effet de la chaleur produit un accroissement de pression qui est sensiblement égal pour le petit intervalle d'un degré à l'effet d'échauffement à pression constante calculé ci-dessus, et est exactement l'équivalent de la compression qui correspondrait à l'accroissement de volume dû à la dilatation, si les parois du vase devenaient extensibles jusqu'à la disparition de cet accroissement de pression.

La chaleur spécifique des gaz à pression constante est donc sensiblement égale à celle à volume constant, étant observé que, dans un cas, il y a travail mécanique produit par la dilatation sous une résistance extérieure, et, dans l'autre, travail latent, emmagasiné sous forme d'accroissement de pression.

Ces principes permettent de tirer parti de quelques valeurs des chaleurs spécifiques des principaux gaz que M. Regnault a déterminées avec beaucoup de soin.

GAZ.	Densités. (L'unité étant celle de l'air = 1k,29.)	Dilatation.	c Chaleur spécifique en poids à pression constante.	Valeurs de C.
Oxygène.	1,1056	0,366	0,2182	0,4052
Azote	0,9713	»	0,2440	0,4560
Hydrogène.	0,0692	»	3,4046	6,4346
Chlore.	2,440	»	0,1214	0,2064
Protoxyde d'azote.	1,525	0,372	0,2238	0,3694
Oxyde de carbone.	0,9674	0,367	0,2479	0,4659
Acide carbonique. .	1,5290	0,371	0,2164	0,3524
Acide sulfureux. .	2,2470	0,390	0,1553	0,2562
Acide chlorhydriq.	1,2474	»	0,1845	0,3405
Acide sulfhydrique.	1,1912	»	0,2423	0,4163
Gaz ammoniac. . .	0,5894	»	0,5080	0,8560
Hydrogène proto-carboné.	0.5527	»	0,5929	0,9659
—bi-carboné. . . .	0,9672	»	0,3694	0,5844

Ce qui précède, l'égalité de c et c', montre l'inexactitude de la manière de raisonner de Laplace dans la théorie du son, et la nécessité de tenir compte du travail mécanique que produit la chaleur de compression d'une manière différente de celle qu'il a adoptée.

On ne peut davantage, en présence de ces chiffres, admettre les hypothèses que Dulong avait proposées jusqu'à de nouvelles recherches, pour en arriver à des résultats si différents de ceux qu'une discussion logi-

que nous indique. Toutefois il importerait aux progrès de la science de déterminer, pour quelques gaz, les chaleurs spécifiques à pression constante, pour vérifier notre manière de raisonner, et celles des gaz liquéfiés pour prouver ou rectifier le valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur, qui entre dans tous les calculs. M. Regnault a, dit-on, déjà trouvé valeur égale pour les deux chaleurs spécifiques c et c' de l'air.

Conséquences de cette détermination de la valeur de C.

On peut vérifier l'exactitude d'une loi capitale et qui devient bien probable pour les composés normaux dont les molécules sont libres dans leurs mouvements : c'est que, pour ceux-ci, la chaleur spécifique est une propriété physique qui dépend de la nature des molécules premières, et que, par suite, la chaleur spécifique des composés doit se déduire de celles des composants, en partant de celles qui répondent à l'état liquide.

Prenons l'eau pour exemple, nous avons :

$$(1\,\text{Oxy})\,1^k,45 \times 0,1052 + 0,1768\,(2\,\text{Hy}) \times 6,4316 = (1,45 + 0,1768)\,x.$$

Effectuant le calcul, on trouve $x = C = 1,066$, au lieu de 1, pour la chaleur spécifique de l'eau, c'est-à-dire une vérification satisfaisante.

On entrevoit donc la possibilité, à l'aide des chaleurs spécifiques, de distinguer les composés normaux des composés anormaux, qui ne sauraient se comporter de même sous l'action de la chaleur, résultat considérable dont nous expliquons le sens et l'immense intérêt pour l'étude des corps composés, à l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR, mais je craindrais, ou insistant sur ces conséquences, d'encourir le reproche de vouloir trop prévoir les faits à l'aide du raisonnement, défaut blâmé bien souvent avec raison par les savants de notre époque, qui tombent peut-être dans le défaut opposé de ne pas utiliser suffisamment les recherches expérimentales pour leur faire produire tout le fruit qu'on en peut retirer.

CHAPEAUX. Dans l'article CHAPEAU on a indiqué la révolution qu'allait apporter dans la fabrication des chapeaux une nouvelle machine d'invention américaine. L'Exposition de 1855 a permis d'apprécier cette ingénieuse machine, avec laquelle on réduit également dans une très-grande proportion la main-d'œuvre qui succède au bastissage. Nous indiquerons ici les principes sur lesquels elle repose.

La suspension dans l'air est le moyen de séparer les poils si légers et de les répartir convenablement; nous représentons (fig. 3454) l'arçon, l'outil curieux employé seul jusqu'à ce jour, dont nous avons expliqué le maniement.

La machine américaine opère d'une manière semblable, seulement ce n'est plus à l'aide d'une corde à boyau, mais par le ventilation, qui met les poils en mouvement, qu'elle opère, et cela avec une rapidité (peut-être trop grande, car elle entraîne quelques déchets de duvets fins) telle, qu'elle donne en trois minutes la galette ou le bastissage à une consistance très-convenable.

Voici en quoi elle consiste : un cône en cuivre rouge, percé de trous serrés et de très-petit diamètre, est mis, par sa base, en communication avec un orifice qui se relie lui-même au tube d'appel d'un aspirateur à force centrifuge. Le cône, animé d'un mouvement de rotation assez lent, est placé en regard d'une trémie à section trapézoïdale; le poil est livré sur une toile sans fin qui, tournant autour de deux ensouples, forme un tablier mobile. Après avoir été comme laminé d'abord, entraîné entre deux brosses tournant en sens inverse l'une de l'autre, le poil est introduit dans le corps de la trémie. Il obéit alors, en se divisant, à l'appel produit sur la colonne d'air qui remplit la trémie.

En effet, l'air extérieur appelé par l'action de l'aspirateur se répand à travers le réseau des vides pratiqués sur le cône, et le poil vient se précipiter sur le paroi du cône, contre laquelle il est appliqué énergiquement, en même temps que ses éléments s'enchevêtrent mutuellement. Après trois minutes environ, la quantité de poil voulue pour une galette s'est déposée sur le cône, avec une épaisseur décroissante du sommet à la base; la régularisation, dans les proportions voulues pour obtenir cette épaisseur variée, est facile à obtenir par la dimension des trous qui livrent passage à l'air. Une toile imprégnée d'eau chaude acidulée est jetée ensuite autour de la nappe conique, et après une immersion complète dans l'eau chaude du cône, muni encore de la galette formée, il devient facile d'enlever celle-ci afin de la porter au foulage.



3454.

Pour opérer ce dernier travail mécaniquement, régulièrement et rapidement, M. Laville, habile fabricant, a imaginé la machine qui figurait à l'Exposition. Elle repose en principe sur le combinaison d'une pression et d'une friction simultanées, l'une et l'autre pouvant être réglées et variées à volonté. L'appareil ou l'organe feutreur se compose de deux rangées de rouleaux jointifs et superposés, chaque rouleau de l'étage supérieur étant logé dans l'espèce de canal à parois cylindriques convexes, formé par deux rouleaux contigus de l'étage inférieur. Tous les rouleaux de ce deuxième étage, de même que ceux de la rangée supérieure, sont animés d'un double mouvement de rotation et de translation longitudinale alternative, les rouleaux de l'étage supérieur tournant, d'ailleurs, en sens inverse de ceux qui sont au-dessous. On comprend que les galettes livrées à l'arrière cheminent de l'arrière à l'avant, soumises entre les deux rangées de rouleaux à une pression longitudinale, aussi énergique qu'on la peut vouloir, et à des efforts de friction latérale double et inverse, chacun d'eux s'exerçant sur une face de tissu. Une bassine supérieure, remplie d'eau acidulée, est munie de robinets disposés pour verser l'eau en lame mince et large, pendant toute la durée du travail; une caisse placée au-dessous des rouleaux et dans laquelle ceux-ci plongeraient au besoin, reçoit le liquide fourni par la bassine supérieure.

Il est à peine besoin de dire que l'eau acidulée,

chauffée par la vapeur, peut être livrée à une température très-élevée, bien supérieure à celle que la main peut supporter, et que cette condition est éminemment favorable au feutrage.

Si l'on compare tout cet ensemble aux dispositions de feutreuses mécaniques décrites à l'article LAINE, on comprendra combien celles-ci sont supérieures. Il fallait arriver à ce degré de perfection, car la qualité du produit dépend tellement de la perfection des façons, que le travail à la main des bons ouvriers donne encore des produits supérieurs à la plupart de ceux obtenus avec cette ingénieuse machine.

Panama. — On donne ce nom à une nouvelle espèce de chapeaux d'été, d'une souplesse et d'une légèreté infiniment plus grande que tout ce qui avait été fabriqué antérieurement. C'est du Pérou et de l'Équateur que proviennent ces chapeaux, qui sont fabriqués par les habitants de la montagne.

La matière première de ces chapeaux est une plante-arbuste appartenant à l'espèce palmier et au genre latanier, appelée dans le pays *bombonasa*, très-commune dans le Pérou.

Les feuilles du bombonaxa, pour être propres à ouvrer, sont cueillies, comme la paille de Toscane, avant leur entière maturité, et l'on a soin d'enlever les nervures trop saillantes. Au moyen d'un instrument armé de deux aiguilles, que l'on rapproche ou que l'on éloigne l'une de l'autre, selon le degré de finesse de la paille que l'on veut obtenir, on découpe la feuille en bandes longitudinales que l'on fait sécher et blanchir à l'air. Le travail du tissage s'effectue en partant du centre pour arriver jusqu'aux bords.

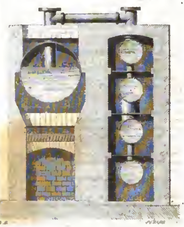
CHAUDIÈRE A VAPEUR. Les dimensions des chaudières à vapeur sont déterminées par l'étendue des surfaces de chauffe, et le plus utile conseil que l'on puisse donner au fabricant qui monte une machine à vapeur, c'est de ne pas craindre d'acheter une chaudière plutôt trop grande que trop petite. La facilité que le chauffeur éprouvera à conserver toujours la vapeur à la pression voulue, sans trop forcer le feu, est la plus grande cause de sécurité possible contre l'irrégularité du travail, les coups de feu et accidents de tout genre.

On satisfera à cette condition en donnant 1 mètre carré de surface de chauffe par cheval-vapeur, car on cite de bonnes chaudières où l'on vaporise facilement 20 kilog. de vapeur par mètre carré à l'heure. La dimension que nous indiquons est cependant dépassée dans les meilleures chaudières, telles que celles dont nous allons donner la description.

Nous ne choisirons pas une chaudière à bouilleurs, déjà décrite, au reste, dans notre premier article, bien que ce système soit encore considéré comme le meilleur par beaucoup de constructeurs. Il est généralement admis que la difficulté que rencontre la vapeur formée à passer des bouilleurs dans la chaudière rend leur effet moins profitable qu'on ne pensait. Nous citerons plutôt les chaudières Farcot. Cet habile constructeur, cherchant à accroître considérablement les surfaces de chauffe, a placé latéralement des cylindres réchauffeurs, de manière à refroidir parfaitement la fumée par un déplacement méthodique de la chaleur. Nous en avons déjà parlé à l'article VAPEUR, mais sans en indiquer les proportions que nous fournit l'excellent *Guide du Chauffeur* de M. Grouvelle :

« Ces chaudières (fig. 3455) consistent dans un cylindre en tôle, de 8 à 10 mètres de longueur et de 1 mètre de diamètre. Les bouilleurs, de $0^{m},60$ de diamètre, ne sont pas attachés à la chaudière, mais placés au nombre de trois, rarement de quatre, à côté de la chaudière, et au-dessus l'un de l'autre. Ces bouilleurs sont réunis de l'un à l'autre par deux culottes longues et un peu flexibles placées à l'une et à l'autre extrémité du bouilleur. Le bouilleur supérieur communique avec la chaudière par un tuyau en fonte de 10 ou 12 centimètres de diamètre, par lequel la vapeur produite dans les bouilleurs se réunit à celle de la chaudière ; le bouilleur inférieur reçoit à une de ses extrémités l'eau d'alimentation froide envoyée par la pompe alimentaire. Cette eau passe du bouilleur dans un autre en les parcourant dans toute leur longueur, et arrive enfin dans la chaudière par le tuyau qui part du bouilleur supérieur et qui va plonger dans l'eau de la chaudière où il porte l'eau d'alimentation fortement chauffée et en même temps la vapeur produite.

« Le principe du système est de donner une surface de chauffe indirecte considérable et égale à celle des chaudières de Cornouailles, de très-grandes grilles, et une combustion lente ; enfin, un courant descendant



3455.

de fumée qui passe d'un bouilleur à l'autre en sens contraire du mouvement de l'eau d'alimentation.

« *Surface de chauffe par cheval.* — Comme dans les chaudières de Cornouailles, elle est de 2 mètres carrés par cheval et au minimum de $1^{m},80$.

« *Grille.* — La grille a 2 décimètres carrés par kilogramme de houille à brûler. Toutes les parties de la chaudière et de ses tuyaux exposés à l'air sont ici, comme dans les machines de Cornouailles, enveloppées avec les plus grands soins. Les parois des fourneaux sont très-épaisses, les carneaux ont de plus une section considérable, qui permet à la fumée d'y marcher très-lentement : on entretient sur la grille un feu qui dort et qu'on alimente par petites quantités et quand la pression commence à baisser dans les chaudières, et comme le registre est presque fermé et les carneaux de très-grande section, la fumée les parcourt avec la plus grande lenteur et en descendant en sens contraire de l'eau d'alimentation, ce qui la dépouille d'une portion considérable de sa chaleur.

« Pour éviter le refroidissement profond que les fourneaux et les générateurs éprouvent pendant la nuit par le passage continu d'un courant d'air froid appelé par la cheminée, malgré le meilleur registre, le cendrier est clos hermétiquement au moyen d'une porte intérieure fermant sur une partie dressée à la machine à raboter, et par deux loquets manœuvrés

du dehors. Ce tampon est mis en place à l'instant où on arrête l'emploi de la vapeur; aussi, dans une observation faite par nous, après douze heures d'arrêt, la pression n'est-elle pas tombée de deux atmosphères sur cinq.

« Dans ces conditions, les chaudières Farcot produisent partout 7^k,20 de vapeur par kilog. de houille, et même 8 kilog. avec de la gaillette de première qualité. »

CHAUDIÈRES A FOYERS INTÉRIEURS.

La plupart des ingénieurs qui ont cherché des perfectionnements aux chaudières, ont cru les obtenir en enveloppant le foyer de métal en contact avec l'eau, et faisant circuler la fumée au milieu de l'eau, entre des surfaces multipliées et compliquées, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement refroidie; confondant les conditions ordinaires du tirage par le seul effet de la cheminée avec les puissants tirages des locomotives pour lesquelles cette disposition devient alors parfaite. Au reste, l'expérience a parlé clairement, et partout où le poids des fourneaux en briques n'en interdit pas l'emploi, on a adopté et on emploie les chaudières métalliques enveloppées de foyers et de carneaux en briques.

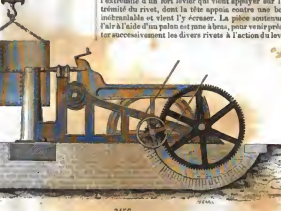
« Nous avons déjà dit que plus de moitié de la surface de chauffe d'un générateur devait être exposée à l'action directe et verticale du feu, et que la majeure partie de l'effet utile se produisait là.

« Or, le diamètre extérieur que l'on peut donner à une chaudière étant limité, et ne pouvant guère dépasser 1^m,30 ou 1^m,50, le diamètre du cylindre intérieur qui contient le foyer, et par conséquent la surface exposée directement, ne peuvent être que fort réduits. De plus, cette surface, au lieu d'être placée tout entière à peu près horizontalement au-dessus du foyer, l'enveloppe latéralement dans une grande partie de son développement, et ne reçoit par conséquent son action que d'une manière indirecte et désavantageuse. Il n'y a que la moitié supérieure du cylindre qui puisse être considérée comme surface de chauffe; toute la partie inférieure, placée au-dessous des courants, chauffe mal et est couverte immédiatement de cendre et de suie. Pour compenser ces inconvénients, on est obligé de multiplier les circulations à travers l'eau, et alors le rapport entre la surface directe et la surface indirecte est moins avantageux.

« Ces dispositions ont d'autres défauts encore. On a reconnu en effet que la combustion souffrait toujours du contact d'une surface métallique sans cesse refroidie extérieurement par de l'eau.

« En Angleterre, et surtout dans le Cornouailles, on a donné des diamètres énormes aux chaudières et à leurs tubes intérieurs, en tête desquels se trouve placé un foyer de très-grande dimension. Avec le principe de brûler à basse température, et en multipliant autant qu'on le fait la surface de chauffe, on arrive, au moyen d'un foyer où la quantité brûlée est considérable, à avoir ainsi un très-bon emploi du combustible. Il n'en serait pas de même en France, où, avec l'emploi presque général de la vapeur à six atmosphères et au-dessus, l'administration ne permettrait pas l'emploi de ces grands diamètres, et où il faut nécessairement avoir de hautes températures. La combustion dans des foyers intérieurs trop resserrés doit certainement toujours être imparfaite. »

CHAUDRONNERIE. Les machines à river de MM. Cavé et Lemaître, mues par action directe de la vapeur, sur lesquelles nous avons surtout insisté dans notre article, se sont peu propagées, malgré le développement de la grosse chaudronnerie en tôle. Les machines mues par simples transmissions mécaniques sont toujours les plus employées. Nous donnons ici le dessin de la machine à river déjà ancienne de Fairbain (fig. 3456), dont elles se rapprochent beaucoup. Elles consistent essentiellement en une came ou excentrique, montée sur l'arbre mis en mouvement par un moteur de puissance suffisante; cette came soulève l'extrémité d'un fort levier qui vient appuyer sur l'extrémité du rivet, dont la tête appuie contre une borne inébranlable et vient l'y écraser. La pièce soutenue en l'air à l'aide d'un palan est mue à bras, pour venir présenter successivement les divers rivets à l'action du levier.



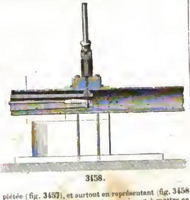
3456.

3457.

La construction des ponts en tôle a donné lieu à des travaux de chaudronnerie d'une extrême impor-

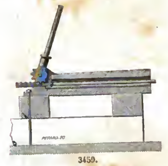
tance. M. Gouin a inventé une machine à forets multiples, tournant par un même moteur, à peu près comme les bobines d'un banc à broches pour accélérer le perçage, en effectuant une file de 20 ou 30 trous à la fois à l'aide d'outils coupants; ce qui ne fausse pas la tôle comme une opération de poinçonnage, et rend par suite la rivure bien plus résistante, l'application des surfaces bien plus complète.

La figure de l'article CHAUDRONNERIE, qui représente le système de M. Lemaître pour la rivure de longs cylindres, est rendue peu compréhensible par l'oubli du dessinateur, qui n'y a pas représenté le plan incliné, qui passe à l'intérieur et vient appliquer la tête du rivet contre la paroi intérieure du tuyau avant que le levier extérieur vienne produire la rivure. Nous réparons cette omission en répétant ici cette figure com-



3458.

plétée (fig. 3457), et surtout en représentant (fig. 3458 et 3459) les détails du système qui sert à mettre en



3459.

mouvement le plan incliné, à l'aide duquel se produit la rivure.

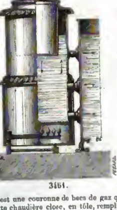
CHAUFFAGE AU GAZ. 4° *Emploi du gaz d'éclairage.* — Le bon marché du gaz, la facilité de sa distribution qui permet de l'employer sans la surveillance d'un chauffeur, la facilité qu'il procure d'obtenir une température constante et au besoin très-élevée en proportionnant, à l'aide d'un simple robinet, l'arrivée du gaz au refroidissement de l'appareil, rendront très-considérable son emploi pour chauffage dans les grandes villes. Déjà à Londres la consommation a pris de ce chef un grand développement; nul doute qu'elle ne soit encore bien plus considérable à Paris, malgré le prix un peu plus élevé du gaz, à cause de la multitude de petits ateliers où ce mode de chauffage offre relativement plus d'économie que dans les grandes fabriques.

Nous empruntons encore au *Guide du Chauffeur*, si riche en renseignements sur toutes les questions de production et l'emploi de la chaleur, quelques-uns de ceux qu'il contient sur l'emploi du gaz.

« *Poêles à gaz.* — Nous donnons ici (fig. 3460) le plan d'un poêle de ce genre apporté de Londres, et qui chauffe un bureau. Il présente un tuyau formant couronne et percé d'un grand nombre de trous pour l'allumage du gaz. Cette couronne est entourée d'une enveloppe métallique ornementée, dans laquelle passe de l'air extérieur qui se verse dans la salle, ou bien l'air de la salle même; cet air reçoit la chaleur développée par la combustion du gaz et la transmet aux salles à chauffer. Cet appareil chauffe vite et bien, mais il a deux vices graves : d'abord il verse dans la salle l'acide carbonique et les acides hydrosulfurique et sulfureux résultant de la combustion du gaz, ainsi que des vapeurs de carbure de soufre, atmosphère désagréable et dangereuse même; pour diminuer cet inconvénient, on a soin de percer dans le plafond des ouvertures qui servent à emporter l'air vicié et à assainir la salle, disposition bien inférieure à celle de l'hôpital St-Louis que nous décrivons plus loin. Ensuite ces poêles se refroidissent presque instantanément, dès que les becs de gaz sont éteints. C'est le défaut de tous les appareils de chauffage au gaz jusqu'à présent.



3460.



3461.

« *Poêle pour chauffer un bain.* — Cet appareil est très-bien disposé (fig. 3461). C'est une couronne de becs de gaz qui chauffe une petite chaudière close, en tôle, remplie d'eau, et qui se

met à volonté en communication avec une baignoire par des tuyaux munis de raccords à vis; ces tuyaux servent à établir une circulation régulière entre la petite chaudière et la baignoire. En moins d'une heure la baignoire est parfaitement chauffée, et quand on est entré dans le bain, en fermant aux trois quarts le robinet du gaz, on laisse la circulation marcher lentement, et on maintient le bain rigoureusement à la même température; un récipient placé dans le haut de l'appareil, chauffe le linge dont on a besoin.

« *Chauffage de l'hôpital Saint-Louis.* — Il n'y a aujourd'hui encore en France qu'un seul établissement public chauffé complétement au gaz, et les résultats en sont excellents; c'est l'hôpital Saint-Louis, de Paris, qui possède une usine à gaz, à l'aide de laquelle le gaz obtenu dans des conditions économiques coûte de 5 à 6 centimes le mètre cube, comme on nous l'a dit.

« Toutes les salles de malades de l'hôpital sont chauffées par de gros poêles en tôle avec une galerie en cuivre sur le haut, pour maintenir les pots de tisane qu'on y place.

« Le principe de ces poêles, contraire à celui des poêles anglais précédemment décrits, est d'isoler complétement l'air qui sert à brûler les gaz et les produits infects de leur combustion, de l'air pur que l'on chauffe et que l'on verse dans la salle.

« Il y a deux arrivées d'air distinctes et qui viennent de la même prise extérieure, mais qui sont séparées par une cloison à 1 mètre au moins du poêle.

« L'air qui a servi à la combustion des gaz est forcé de redescendre, pour passer sous des plaques de fonte qui entourent le poêle et qui servent de chaufferette aux malades. Cet air vicié est ensuite emporté dans une cheminée établie dans les murs du bâtiment.

« Le gaz est brûlé sur une couronne de becs, que l'on allume ou que l'on éteint par le jeu d'un robinet manœuvré de la salle, à travers le plancher. Il brûle sous une pièce de fonte, semblable à une cloche de calorifère.

« L'air pur destiné à chauffer et à assainir la salle, amené, par un canal distinct, vient s'échauffer autour de la cloche, et de là il passe entre deux surfaces métalliques chauffées par la flamme et la fumée du gaz, pour être versé dans la salle à l'aide de quatre larges bouches de chaleur. Au-dessous du bain de sable à tisanes et au-dessus du calorifère est une capacité, en communication au moyen de grandes ouvertures avec la salle dont elle facilite l'échauffement.

« Deux poêles de 13 becs et de 1 mètre de diamètre sur 1m,20 de haut, allumés 24 heures, chauffent parfaitement une salle de 1,200 mètres cubes contenant 45 lits. Une salle de 80 lits est chauffée par 4 poêles de 36 becs l'un et brûlant chacun par heure 3 mètres cubes de gaz.

« On peut compter que les deux poêles de 13 becs de la salle de 1,200 mètres cubes brûlent ensemble 3 mètres cubes de gaz à l'heure.

« D'après les analyses du gaz de houille par Dulong, 1 litre de ce gaz dégage en brûlant 8 cal. 880;

Soit pour 1 mètre cube de gaz . . . 8008 calor.
Ou l'équivalent en houille de. . . . 1k,136

« En nombre rond on peut prendre 1 mètre cube de gaz de houille comme égal à la puissance calorifique de 1 kilog. de houille.

« Avec trois mètres cubes de gaz brûlés par heure, le nombre d'unités de chaleur versées dans la salle de 1,200 mètres cubes, contenant 45 lits de malades, est donc de 24,024. En pratique, on sait qu'on ne peut pas chauffer une salle de malades avec le renouvellement d'air nécessaire à moins de 1m,450 de surface de chauffe à la vapeur ou à l'eau, chauffée à 3 atmosphères par 100 mètres cubes, et que chaque mètre de surface métallique, plongé dans l'air à 15° dans les conditions ci-dessus, et ayant 135° centigrades, dégage au moins 1,350 calories par heure.

« Les 10 mètres carrés de chauffe nécessaires pour la salle de 1,200 mètres cubes donnent donc par heure 24,300, ce qui est parfaitement d'accord avec les résultats et les dépenses de gaz constatés à l'hôpital Saint-Louis, de Paris.

« Avec ces éléments, il sera facile d'établir et de proportionner partout des appareils de chauffage au gaz.

« Les poêles de l'hôpital Saint-Louis sont assez bien disposés et fort commodes pour les malades par suite des plaques circulaires en fonte qui les entourent; ils sont très-salubres, parce qu'ils envoient au dehors tout l'air vicié par la combustion du gaz, et que les salles ne reçoivent que de l'air pur. On est très-satisfait de leur service, qui est propre, régulier, facile à conduire et n'exige presque aucune réparation. »

2° *Gaz combustibles. — Appareil Beaufumé.* — Au lieu d'employer le gaz fourni par la distillation de la houille grasse, dont le prix est nécessairement élevé, on peut fort avantageusement, comme l'a enseigné Ebelmen dans son article COMBUSTIBLES, convertir tout corps solide combustible en gaz. Nous avons donné le dessin du four qu'il avait établi pour le travail du fer; pour compléter ce que nous avons dit sur la transformation des combustibles en gaz combustibles, nous donnerons l'appareil Beaufumé, qui est le générateur à gaz d'Ebelmen, rendu plus pratique en adoptant en partie la disposition des foyers des locomotives, appliqué à la production de la vapeur d'eau.

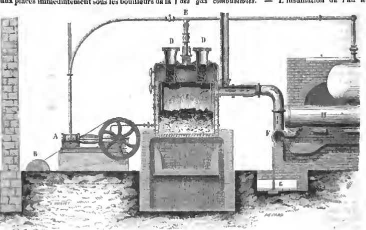
« L'appareil Beaufumé consiste (fig. 3462) en un foyer avec grille, enveloppé de tous côtés d'une capacité en tôle à doubles parois remplie d'eau et qui laisse à sa partie supérieure un espace suffisant pour la vapeur développée. C'est un foyer de locomotive; ce foyer est alimenté au moyen de deux chargeoirs D, D, fermés en dessus par des portes et en dessous par des valves qui permettent l'introduction des matières à brûler sans laisser échapper au dehors les gaz chauffés au rouge; l'air destiné à brûler le combustible est lancé sous la grille par un ventilateur B que conduit un petit moteur à vapeur A de la force d'un cheval, dont la vapeur est prise sur la capacité qui enveloppe le foyer. La vapeur de la grande chaudière réunie à celle du foyer s'applique à tous les emplois ordinaires de l'industrie.

« Une partie de l'air est lancée dans le foyer, une autre partie va brûler les gaz combustibles sous la grande chaudière H. Des registres règlent cette distribution.

« Le combustible est chargé sur 65 centimètres de hauteur, afin que l'air poussé à travers cette masse, après s'être converti en acide carbonique, en brûlant la couche inférieure et la portant à la plus haute température, se transforme en oxyde de carbone en traversant les couches supérieures beaucoup moins chauffées, et qui dégage en se formant une quantité de chaleur employée à chauffer ce gaz même et l'enveloppe. Le cendrier est hermétiquement clos, deux larges portes rendent facile son nettoyage et celui de la grille. Deux tuyaux de cuivre de 1 centimètre de diamètre, munis chacun d'un robinet, portent à volonté une partie de la vapeur sous la grille pour faciliter son nettoyage, et aussi pour concourir à la transformation des combustibles en gaz.

« Le générateur accouplé au producteur de gaz que nous venons de décrire a la forme que chaque constructeur préfère; la chaudière à bouilleur convient très-bien.

« Les gaz développés dans le foyer passent à travers un tuyau en fonte, jusque dans une caisse métallique G placée devant le fourneau et où a lieu leur mélange avec l'air chaud. Ce mélange est ensuite poussé dans deux carneaux placés immédiatement sous les bouilleurs de la



3162.

chaudière, et pour ne pas brûler les bouilleurs, le plafond de ce carneau est plein dans la première portion et percé plus loin de larges ouvertures par lesquelles les gaz enflammés enveloppent et chauffent les bouilleurs. Ces gaz circulent ensuite deux fois sous le corps de la chaudière, et les produits de la combustion s'échappent au dehors par une cheminée à deux cloisons, munies chacune d'un registre, et qui marche très-bien avec 4 mètre de hauteur.

« Ces produits ont encore 180 ou 200° de température avec la disposition représentée. Il serait bon de les faire circuler encore une fois autour d'un bouilleur, dans lequel on ferait passer l'eau d'alimentation, qui du reste peut être chauffée à 70° par la vapeur perdue du moteur.

« La conduite de l'appareil est facile. On charge le combustible en quantités constantes et à des heures fixes, d'où résulte une grande régularité dans la production de la vapeur.

« Le ventilateur a 0m,60 de diamètre et 0m,30 de largeur. Il fait de 700 à 1,000 tours, suivant la quantité de combustible à brûler par heure. En deux heures quand le foyer est froid, en une heure quand il a été chauffé la veille, la chaudière est en pression. »

Les expériences de M. Grouvelle sur cet appareil, où, au total, toute la chaleur produite en deux fois n'en arrive pas moins tout entière au générateur de vapeur, l'ont conduit à établir que l'on obtenait avec cet appareil 10 kilog. de vapeur par kilog. de bonne houille; résultat magnifique, puisque les meilleures chaudières ne permettent d'en obtenir que 6 ou 7 kilog., et assez important pour assurer, s'il se confirme dans la pratique des ateliers, le succès du système, malgré son prix élevé et la dépense de puissance motrice qu'exige le ventilateur.

Disons aussi que l'appareil Beaufumé offre cet avantage, déjà indiqué en traitant des générateurs de gaz, qu'il permet d'utiliser parfaitement les anthracites, les houilles maigres qui brûlent mal sur la grille et ont une valeur bien inférieure à celle des houilles grasses.

De l'insufflation de l'air pour activer la combustion des gaz combustibles. — L'insufflation de l'air au milieu des gaz combustibles, le mélange intime et la rapidité de combustion qui en résultent, est la condition fondamentale de leur emploi, lorsqu'il s'agit d'effectuer des opérations qui exigent des températures très-élevées; le puddlage du fer, par exemple, à l'aide des gaz des hauts fourneaux, comme nous en avons donné un exemple à l'article FER.

Cependant, dans les exemples que nous avons cités de l'emploi du gaz d'éclairage dans les usages domestiques, nous n'avons pas parlé d'insufflation d'air. En effet, ce gaz brûle si facilement, qu'il est inutile, lorsqu'il s'agit seulement de chauffer de l'air ou de l'eau, de faire autre chose que de l'atténuer.

Mais s'il s'agit de produire des températures très-élevées, s'il faut diriger sur un corps froid des quantités de gaz un peu considérables dont l'écoulement est gêné, n'est plus libre comme par la cheminée en verre qui garnit un bec d'éclairage, il est alors nécessaire d'insuffler de l'air qui rend la combustion vive, rend la flamme blanche, et fait disparaître les fuliginosités qui se déposaient sur le corps à échauffer, par suite de la combustion incomplète.

Pour obtenir la combustion vive nécessaire dans le cas qui nous occupe, la disposition la plus convenable est celle d'un véritable chalumeau à gaz. L'air poussé par une soufflerie quelconque est amené au centre d'un bec de gaz, et vient, étant lancé, se mélanger avec lui, pour donner un dard ardent qui amène promptement au rouge vif le point à chauffer; la chaleur communiquée en chaque instant étant bien supérieure à la déperdition qui peut être produite par la communication avec les parties voisines, quelque bonne conductrice de la chaleur que soit la substance à chauffer.

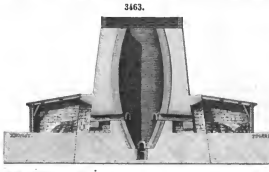
Tous les laboratoires de chimie de Paris, qui ont adopté avec empressement le chauffage au gaz depuis qu'on peut l'avoir pendant le jour, ont aussi des appareils à soufflerie d'air pour produire des températures élevées. L'industrie parisienne commence à en faire

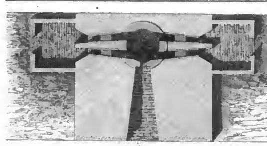
autant pour une foule de cas, les soudures de métaux, le fonte du zinc, etc.

CHAUX (FOUR A). M. Simonneau (de Nantes) a combiné une disposition de four à chaux qui a fourni d'excellents résultats au point de vue de l'économie de chauffage qu'il procure ; ce qui n'est pas de minime importance pour des pays qui, comme l'ouest de la France, doivent leur prospérité agricole à la chaux employée sur une grande échelle comme amendement. Ce four est continu, sans que le combustible soit toujours mélangé avec la pierre, différant en cela de ceux de cette espèce décrits à l'article MORTIER. Les dispositions spéciales qui en ont fait le succès, peuvent le rendre précieux pour l'utilisation de certains combustibles de qualité très-inférieure.

La forme générale de ce four, que représentent les figures 3463 et 3464, est celle d'un ellipsoïde inégalement tronqué à ses extrémités, la plus grande section, celle du gueulard, étant de 3 mètres environ, tandis que la section horizontale inférieure fermée par une grille n'a qu'une ouverture de 80 centimètres.

3463.





3464.

Au niveau de cette grille le four présente une ouverture destinée au défournement de la chaux et fermant au moyen d'une porte à coulisse en tôle épaisse.

Au-dessous de cette même grille se trouve le cendrier du four, revêtu à l'intérieur de briques réfractaires et pourvu aussi d'une porte à registre.

A 3 mètres environ au-dessus de la grille viennent aboutir, dans le four et sur le même plan horizontal, quatre conduits ou chauffes opposés deux à deux et symétriquement disposés de chaque côté du four. Entre les deux conduits s'élève un massif en maçonnerie pleine servant de point d'appui à la voûte des chauffes. Vers le milieu de leur longueur, ces conduits sont pourvus d'une grille qui reçoit le combustible. Les cendriers de ces chauffes sont munis de portes à registres.

Ce four rappelle le four de Rudersdorf, décrit à l'article CHAUX, disposé pour l'emploi de la tourbe. Il en diffère par les proportions qui permettent l'emploi de tous les combustibles en faisant varier l'intensité du feu à l'aide des registres, et aussi par l'excellente disposition de sa grille en plan incliné, formée de barreaux de fer espacés de 3 centimètres, et servant, pendant le défournement de la chaux, à tamiser les cendres et la poussière de chaux, et par suite à diminuer beaucoup la fatigue du chaufournier.

Lorsqu'on emploie du combustible donnant de grandes flammes, comme des fagots, des branchages, des ajoncs, on ferme le grand cendrier et on entretient sur chaque chauffe un feu vif.

Lorsqu'on emploie la houille, il faut stratifier le calcaire par couches de 5 mètres, puis déposer un lit de branchages, de fagots, sur lequel on charge 7 hectolitres de houille. En opérant de la sorte, on obtient jusqu'à 8 hectolitres de chaux par hectolitre de houille.

Quand on emploie de la tourbe ou de l'anthracite, il faut diminuer la couche de calcaire de moitié, et tirer toutes les heures exactement un hectolitre de chaux pour faire couler les cendres et aviver le feu.

On ne saurait évaluer à moins de 8 ou 10 fr. par 1,000 kilog., dit M. Jacquelain dans son rapport à la Société d'encouragement, auquel nous empruntons les détails qui précèdent, l'économie que procure l'emploi des grands fours à chaux de M. Simonneau, de 120 mètres cubes de capacité, pouvant produire 40 mètres cubes par 24 heures, quand on les compare aux petits fours généralement employés dans les campagnes. Or on sait de quelle importance extrême est le bas prix de la chaux pour l'agriculture, et que certaines terres froides notamment ne donnent que des résultats misérables sans l'emploi de cet amendement sur une grande échelle.

CHÈVRE. On donne le nom de chèvre non-seulement à l'espèce de treuil qui sert à élever les matériaux dans les constructions, mais encore à une combinaison de leviers qui forme un appareil fort simple et



3465.

fort ingénieux employé pour lever les voitures légères, et qui consista (fig. 3465) en un chevalet à deux pieds, portant un axe qui est traversé par l'œil d'un levier dont le petit bras est articulé avec une longue pièce de bois dont l'autre extrémité porte à terre. Le mouvement du grand bras fait lever la pièce de bois sur laquelle appuie l'essieu de la voiture et élève celle-ci. Le petit bras de levier pouvant dépasser la verticale, la voiture reste soulevée pour le nettoyage des roues, le démontage des boîtes, etc., etc.

CHLOROFORME. Nom donné à un éther chloré qui, au contact d'une dissolution alcoolique de potasse, donne du chlorure de potassium et du formiate de potasse. Il s'obtient par la réaction de l'alcool sur le chlorure de chaux, et se sépare de la liqueur par une distillation.

Le chloroforme est liquide, incolore, d'une odeur éthérée très-agréable, d'une saveur sucrée. Sa densité à 18° est de 1,48. Il bout à 60°,8; la densité de sa vapeur est de 4,2; il brûle avec une flamme verte.

Le chloroforme produit, à un plus haut degré que l'éther, les effets d'ivresse propres aux produits alcooliques, d'anesthésie, qui ont été mis à profit pour rendre insensible à la douleur dans les opérations chirurgicales.

A une époque où l'on pensait devoir retirer de très-grands résultats pour la navigation, de la machine à vapeurs combinées, et lorsque la facile inflammabilité des vapeurs d'éther semblait le grand obstacle qui s'opposait à leur adoption, M. Lafond, officier de marine, avait substitué avec succès le chloroforme à l'éther. L'expérience prolongée a montré que le chloroforme attaquait les condenseurs tubulaires en cuivre employés dans ces machines.

CHOCOLAT. La fabrication du chocolat a pris, en France, depuis quelques années, une grande extension, et les appareils à l'aide desquels on l'a rendue facile ont atteint une grande perfection. Nous citerons parmi les principaux :

Les moulins coniques en granit pour broyer le cacao; les deux surfaces flottantes sont taillées en spirales, les spirales du cône n'étant entaillées que sur une très-petite étendue du cône, assez pour saisir et entraîner le cacao.

Les mélangeurs, composés de deux meules en granit tournant aussi dans une auge en granit. La matière est continuellement ramenée sous les meules par des roulettes en forme de versoirs de charrues, qui servent aussi à la mélanger.

La machine à broyer le chocolat la plus répandue est la machine à trois cylindres de granit que nous avons décrite à l'article BROYEN. On y a adapté des couteaux en quartz de Finlande, pour éviter le contact du fer avec le chocolat. Quelquefois on multiplie les broyeurs, surtout quand on emploie les rouleaux coniques tournant autour d'un seul arbre. On emploie des broyeurs à des étages superposés, de huit rouleaux coniques chacun. Il y a ainsi 24 génératrices de contact qui opèrent le broyage.

Enfin, comme machine fort ingénieuse et fort curieuse, nous décrirons la machine à peser et mouler le chocolat, mise à l'Exposition universelle par M. Devinck, fabricant à Paris.

La pâte, étant introduite dans un distributeur, est amenée au dehors de celui-ci par une vis sans fin, employée pour la première fois par M. Devinck, et qui est reconnue maintenant être le seul appareil propre à extraire convenablement l'air. Cette vis débite le chocolat dans un tambour vertical, muni sur son pourtour de cavités, dans lesquelles circulent des pistons. Les pistons opposés sont reliés par une même tige de cette façon : à mesure que l'un des pistons, placé en face de la vis sans fin, recule sous la pression de la pâte qui remplit la cavité, le piston opposé refoule au dehors le chocolat qui avait rempli le vide correspondant. Cette opération se reproduit à chaque instant, le tambour tournant continuellement devant le distributeur, devant lequel il s'arrête chaque fois, pendant le temps où il se charge du chocolat. Le boudin de chocolat, à sa sortie du tambour, est saisi par le contour d'une roue verticale en bois, qui l'entraîne sur un petit chemin incliné jusque sur la table de moulage et dressage. Le contour de cette roue forme saillie sur le milieu, et, de cette manière, il entraîne mieux le boudin. La table de dressage porte sur son pourtour un assez grand nombre de moules, en forme de tablettes, sur lesquels chaque boudin est recueilli successivement. Cette table est animée d'un mouvement de rotation, et deux roues à galets, tournant en sens inverse, communiquent, à l'aide de cames, un mouvement de vibration continuel à tous les moules. De cette façon, le boudin s'étale successivement à mesure qu'il est entraîné par la table, et avant d'avoir fait un tour entier, il est entièrement étalé. Arrivé à la fin de sa révolution, le moule est enlevé par un mécanisme très-simple et emené sur une espèce de chaîne sans fin qui le descend de suite dans la cave, où s'achève le refroidissement.

Il est à remarquer que tous les mouvements sont commandés par les pistons du tambour, qui font mouvoir d'une part ce tambour lui-même, et d'autre part la table et les roues à galets. Il en résulte un avantage, c'est que, si le distributeur manquait de chocolat, l'appareil s'arrêterait de lui-même et ne fonctionnerait pas inutilement.

Cet appareil est très-bien conçu et fonctionne parfaitement bien. L'emploi de la vis pour expulser l'air est capital, puisque c'est le seul moyen qui réussisse à le chasser convenablement. Le dressage des boudins en tablettes s'effectue d'une manière continue, ce qui fait qu'on peut s'arranger de manière que ce moulage n'ait lieu qu'à la température la plus basse possible, d'où résulte un grain bien meilleur pour le chocolat. Cet effet est encore favorisé par la descente immédiate des moules à la cave. Enfin, la main de l'ouvrier est complétement évitée.

CHRONOMÈTRES ET PENDULES. *Méthode proposée par M. Lieussou pour les observations qui demandent une grande précision.* — La parfaite régularité de la marche des appareils chronométriques est le but qu'on se propose d'atteindre par tous les soins apportés à remédier à toutes les causes de variation dans la marche, par suite des variations de température notamment. Jamais on n'avait pensé qu'il pût exister une autre voie pour arriver à la précision. On doit donc une grande obligation à M. Lieussou, ingénieur-hydrographe d'un grand talent, mort bien jeune, d'avoir ouvert une voie nouvelle consistant à apprécier la valeur de faibles variations qu'on ne sait pas éviter aujourd'hui, de manière à obtenir des chiffres tout aussi exacts que si on était parvenu à y remédier.

C'est, nous croyons, entrer dans une voie très-bonne et déjà suivie pour toutes les observations physiques de grande précision, que de faire résulter le chiffre définitif d'une observation, non pas d'une seule lecture, mais d'une formule d'interpolation, dans laquelle se trouvent figurer les éléments qui influencent l'appareil qui fournit les indications. C'est surtout aux chronomètres marins que les observations de M. Lieussou sont applicables, non pas parce que la méthode n'est pas générale, mais parce que son emploi serait de faible utilité dans d'autres cas, ainsi que nous allons le voir. Nous laissons de côté, bien entendu, les pendules et montres pour l'usage civil, pour lesquelles la grande précision n'est pas réclamée, où celle-ci est souvent sacrifiée à des convenances de mode et de bon marché.

Nous suivrons pas à pas le travail de M. Lieussou, qui ne se trouve que dans un recueil de mémoires d'hydrographie qui n'est pas très-aisé à rencontrer.

Des causes de variation des appareils chronométriques. — Dans les horloges, le moteur est un poids et le régulateur un pendule.

L'épaississement des huiles semblerait devoir diminuer l'oscillation du pendule qui reçoit une moindre impulsion; mais sa masse étant très-grande et l'amplitude des oscillations ne dépassant guère 2 degrés, cet effet est en réalité insensible dans l'espace d'une année.

Quant aux variations de la durée des oscillations en raison des variations de longueur, on y remédie par les pendules compensateurs dont on peut à l'aise varier la disposition; les pendules à grille de longueur considérable ou à mercure permettent d'obtenir des résultats assez précis; toutefois, dans la pratique, le but n'étant jamais atteint d'une manière absolue, dès lors, suivant que la compensation est trop forte ou trop faible, la marche de l'horloge (les variations avec l'heure vraie) croît ou décroît si la température augmente, et *vice versâ* si elle diminue.

Dans les chronomètres, l'effort du ressort moteur diminue à mesure qu'il se déroule; mais en même temps, grâce à la fusée, il agit sur un bras de levier plus grand, de telle sorte que l'impulsion qu'il imprime au rouage reste sensiblement constante.

Le moteur et le régulateur exercent leur action l'un sur l'autre par l'intermédiaire de la roue d'échappement, disposée de telle sorte que le moteur restitue au balancier la quantité de mouvement qu'il a perdue à chaque oscillation par le frottement et la résistance de l'air. Les oscillations, conservant la même amplitude, ont la même durée.

L'épaississement des huiles qui a lieu avec le temps, en augmentant la résistance pendant que l'impulsion reste constante, tend à diminuer l'amplitude des oscillations. La masse du balancier étant fort petite et l'amplitude des oscillations fort grande, cet effet est naturellement considérable; ainsi, en moyenne, l'amplitude étant de 445 degrés quand les huiles sont fraîches, n'est plus que de 330 lorsque les huiles sont âgées de trois ans.

Dans la pratique, un spiral ne peut rigoureusement assurer l'isochronisme des oscillations pour d'aussi grandes variations; par suite la marche d'un chronomètre doit varier avec l'âge des huiles.

La chaleur, en altérant les dimensions du balancier et la constitution physique du ressort spiral, sous l'action duquel il oscille, change notablement la durée des vibrations; on cherche à annuler cet effet en fixant, aux deux extrémités d'un diamètre du balancier, deux lames demi-circulaires formées de deux métaux inégalement dilatables soudés ensemble et portant chacun une petite masse; le centre de gravité de chaque arc se rapprochant ainsi du centre d'oscillation à mesure que la température augmente, la durée de l'oscillation diminue.

On peut donc déterminer par tâtonnement la position des masses, de manière que les oscillations du balancier aient la même durée à deux températures très-différentes; toutefois, comme le retard produit par l'altération du ressort spiral, et l'avance résultant du raccourcissement du balancier, varient avec la température, d'après des lois inconnues, mais nécessairement différentes, ces deux effets peuvent s'annuler lorsque la température varie de 0 à 30 degrés, par exemple, sans qu'on puisse conclure qu'ils s'annuleront si elle s'élève de 0 à 5 degrés.

En effet, la position des masses compensatrices ayant été déterminée de manière que la marche du chronomètre soit exactement la même aux températures t_1 et t_2, l'observation constate que la marche est maxima à la température moyenne $T = \frac{t_1 + t_2}{2}$; et que cette marche maxima diminue de quantités égales pour un même écart de température, en plus ou en moins, à partir de T; il est dès lors naturel de dire que le compensateur est réglé à la température T, sans se préoccuper des températures t_1 et t_2, équidistantes de T, qui ont servi à ce réglage.

Il suit de ce qui précède que si on peut concevoir théoriquement une pendule à marche invariable, on ne saurait même concevoir, d'après le mode actuel de construction, un chronomètre à marche constante; et l'on peut établir :

1° Que la marche d'une pendule est sensiblement indépendante de l'âge des huiles, mais qu'elle varie quelque peu avec la température;

2° Que la marche d'un chronomètre varie à la fois avec l'âge des huiles et avec la température.

Voyons maintenant par quelles formules empiriques on peut remplacer les lois inconnues qui lient la marche de ces appareils à la variation des huiles et des températures, seules quantités variables qui influent sur elles, car s'il s'agissait d'absence de solidité, de déformation des pièces, les appareils devraient être non corrigés, mais remplacés.

Disons d'abord comment M. Lieussou est arrivé aux formes de fonctions qu'il a adoptées, comment l'observation les lui a indiquées; nous verrons plus loin comment les expériences les vérifient.

Chargé du service des chronomètres au Dépôt de la marine, il a d'abord cherché à reconnaître la loi des variations qu'il reconnaissait.

« En prenant les intervalles de temps pour abscisses et les températures diurnes observées à chaque époque pour ordonnées, on obtient la courbe des températures diurnes. En prenant les mêmes abscisses et pour ordonnées les marches diurnes, on obtient de même la courbe des marches diurnes.

La comparaison de la courbe des marches diurnes avec la courbe des températures diurnes a révélé deux faits remarquables :

1° Les points de la courbe des marches, dont les ordonnées représentent des marches diurnes observées à une même température, sont sensiblement en ligne droite;

2° Les diverses lignes droites, obtenues en joignant sur la courbe des marches les points correspondant aux températures égales, sont sensiblement parallèles entre elles.

Par conséquent : 1° l'inclinaison b de ces parallèles sur l'axe des x représente la variation de marche à une température constante, sous l'action du temps écoulé; 2° la distance de ces parallèles, comptée sur les ordonnées, représente les variations de marche, à une même date, sous l'action du changement de température; il suit de là, qu'en coupant la courbe des marches par la série des parallèles isothermes correspondant aux divers degrés du thermomètre, l'accroissement de l'ordonnée, en passant d'une abscisse à l'autre sur la même parallèle, donnera le changement de marche dû au changement de date, tandis que l'accroissement de l'ordonnée, en passant d'une parallèle à l'autre sur la même abscisse, donnera le changement de marche dû au changement de température.

Les droites isothermes, tracées sur la courbe des marches d'une pendule, sont parallèles à l'axe des abscisses; leurs distances, comptées sur l'ordonnée, sont sensiblement proportionnelles aux différences de température. Il en résulte que, a étant la marche de la pendule à zéro, la marche m à $t°$ sera :

$$m = a + c t.$$

Le système des parallèles isothermes, tracées sur la courbe des marches d'un chronomètre, a une inclinaison très-marquée sur l'axe des abscisses; il présente une parallèle maxima correspondant à une certaine température T spéciale à chaque chronomètre, et une coïncidence sensible entre les deux parallèles correspondant à deux températures quelconques $(T+K)$ et $(T-K)$ équidistantes de T, dont l'écart à la parallèle maxima, compté sur l'ordonnée, est proportionnel à K^2.

Si donc a est la marche initiale observée à T^o, b l'inclinaison des parallèles isothermes sur l'axe des x, et c le rapport constant entre les écarts des parallèles à la parallèle maxima et le carré des écarts des températures à la température T^o, sa marche à T^o, à une date quelconque x sera $a+bx$, et la marche m à la même date x et à la température t^o sera :

$$m^s = a^s + b^s x - c^s (T^o - t_o)^2.$$

RÉGIME DES PENDULES. — L'équation de la marche d'une pendule sera représentée d'une manière convenable par une fonction de la température t de la forme $m = a + ct$. Les deux constantes a et c, qui entrent dans cette équation et dont les valeurs différentes pour chaque pendule constituent son régime spécial, seront déterminées par l'observation de deux marches moyennes quelconques correspondant à des températures très-différentes.

Soient m_1 et m_1, t_1 et t_2, les températures moyennes observées, on a les deux relations $m_1 = a + c\,t_1$, $m_2 = a + c\,t_2$, d'où :

$$c = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \qquad a = \frac{1}{2}\left\{ m_1 + m_2 - c\,(t_1 + t_2) \right\}$$

qui donnent les constantes c et a en raison de deux marches et deux températures moyennes pour un intervalle quelconque; elles les donneront d'autant mieux que cet intervalle sera plus grand; en observant, par exemple, les marches et températures moyennes en six mois, observées en hiver et en été, on les obtiendra avec une grande précision.

Ces formules, appliquées à la pendule 4367 Bréguet, à laquelle les chronomètres suivis au Dépôt de la marine sont comparés, ont fourni les résultats suivants :

Première période : les huiles dataient de 7 à 8 ans.

Dates.	Intervalles.	État observé.	Marche moyenne.	Température moyenne.
1er octobre 1850	. . . . .	+0' 23" 2		
	152 jours	. . . . .	$-1^s,79$	$11^o,8$
1er mars 1851. .	. . . . .	−4' 8" 7		
	154 jours	. . . . .	$-2^s,19$	$16^o,6$
2 août 1851. .	. . . . .	−9' 41" 6		

D'où l'on déduit : $c = 0^s,084$; $a = -0^s,80$, et par conséquent, $m = -0^s,80 - 0^s,084\,t$.

Seconde période d'observations, alors que les huiles venaient d'être renouvelées.

Dates.	Intervalles.	État observé.	Marche moyenne.	Température moyenne.
1er septem. 1851	. . . . .	− 0' 2" 4		
	182 jours	. . . . .	$+1^s,59$	$12^o,2$
1er mars 1852. .	. . . . .	+4' 46" 0		
	184 jours	. . . . .	$+1^s,49$	$16^o,8$
1er septembre. .	. . . . .	+8' 24" 5		

D'où l'on déduit $c = -0^s,084$; $a = +2^s,65$, et par conséquent $m = +2^s,65 - 0^s,004\,t$.

En ayant ainsi déterminé l'équation d'une pendule (et l'observation, portant sur un seul mois, donne sensiblement les mêmes valeurs pour les constantes a et c que l'emploi de deux marches et de deux températures moyennes en six mois), on pourra calculer les marches de la pendule. M. Lieusson donne, dans son mémoire, cette comparaison pour la pendule du Dépôt et pour celle de l'Observatoire de Toulon, pour des marches moyennes en un mois, ou de dix en dix jours. Il nous suffira de dire que la différence entre la marche observée et la marche calculée n'est jamais que de quelques centièmes de seconde et ne dépasse jamais 20 centièmes, et par suite l'équation est convenable pour donner la marche de la pendule, au moyen d'une simple observation thermométrique, à $0^s,2$ près, c'est-à-dire avec une précision comparable à celle que comporte l'observation directe.

Régime général d'une pendule. — Dans la formule $a + ct$, la constante a est la marche à 0° ; elle se conserve invariable tant que l'on ne change pas la longueur du pendule.

La constante c est la variation de marche pour un accroissement de température de 1°; elle se conserve invariable tant que l'on ne modifie pas l'appareil compensateur.

Pour que l'heure d'une pendule s'écartât le moins possible de l'heure du temps moyen, il faudrait que sa marche à la température moyenne du lieu θ, c'est-à-dire $m_t = a + c\theta$, fût nulle. Ce résultat poursuivi par tâtonnement, en faisant varier la longueur du pendule, n'est jamais rigoureusement atteint; ainsi, les deux périodes d'observations qui ont précédé et suivi le renouvellement des huiles de la pendule du Dépôt ont conduit aux deux équations : $m^s = -0^s80 - \frac{1}{12}t$, $m^s = +2^s65 - \frac{1}{12}t$, la marche à 15°, température moyenne de l'Observatoire du Dépôt, était :

Pour la première période, $m^s = -0^s,80 - \frac{15}{12} = -2^s,05$; pour la seconde, $m^s = +2^s,65 - \frac{15}{12} = +1^s,40$.

Le pendule était donc trop long avant le renouvellement des huiles et trop court après; ces imperfections du réglage du pendule avaient pour résultat : dans le premier cas, un retard de 2^s05 par jour ou de 12' 28" par an, et, dans le second cas, une avance de 1^s40 par jour ou de 8' 31" par an.

Nous ne suivrons pas M. Lieusson dans la discussion des méthodes à employer pour déterminer le régime moyen annuel des pendules, par des moyens analogues à ceux que nous étudierons pour les chronomètres. Pour une pendule qui reste dans un observatoire, les véritables corrections doivent toujours être obtenues par des observations directes, et la question n'a plus la même importance que pour un chronomètre emporté à bord d'un navire qui s'éloigne du point de départ.

Disons aussi que les moyens d'obtenir une grande précision avec les pendules étant très-grands, l'observation directe entre deux déterminations astronomiques est suffisante. L'appareil compensateur réclame seul quelques perfectionnements; les compensateurs tubulaires à mercure résoudront probablement le problème, en donnant aux tubes une direction qui fasse correspondre les effets de la dilatation avec les variations d'isochronisme produites par le changement de longueur du pendule.

RÉGIME DES CHRONOMÈTRES.

Détermination des constantes qui entrent dans l'équation de la marche d'un chronomètre.

L'équation générale de la marche d'un chronomètre en fonction du temps et de la température, considérés comme des variables indépendantes, est

$$m^s = a^s + b^s x - c^s (T^o - t^o)^2.$$

En laissant de côté la route qui a mené M. Lieus-

son à cette forme, elle sera volontiers admise comme formule empirique, la variation de température modifiant le rayon du balancier, et faisant par suite varier sa force vive qui varie avec le carré des vitesses. Nous verrons plus loin comment elle se vérifie par l'observation.

Les quatre constantes a, b, c et T, qui entrent dans cette équation et dont les valeurs particulières à chaque chronomètre constituent son régime spécial, seront déterminées au moyen de quatre marches quelconques observées à des températures et à des époques différentes. Soient m_1 m_2 m_3 m_4 les quatre marches diurnes observées aux températures t_1 t_2 t_3 t_4 ; en les supposant, pour faciliter le calcul des constantes, séparées par des intervalles égaux h, on a les équations de condition :

$$m_1 = a + b - c(T - t_1)^2 \quad m_2 = a + hb - c(T - t_2)^2$$
$$m_3 = a + 2hb - c(T - t_3)^2 \quad m_4 = a + 3hb - c(T - t_4)^2$$

d'où l'on tire $m_1 - 2m_2 + m_3 = -c\{t_1^2 - 2t_2^2 + t_3^2 - 2T(t_1 - 2t_2 + t_3)\}$

$$m_2 - 2m_3 + m_4 = -c\{t_2^2 - 2t_3^2 + t_4^2 - 2T(t_2 - 2t_3 + t_4)\}$$
$$m_3 + m_4 - m_1 - m_2 = 4hb - c\{t_3^2 + t_4^2 - t_1^2 - t_2^2 - 2T(t_3 + t_4 - t_1 - t_2)\}$$
$$m_1 + m_2 - m_3 + m_4 = 4a + 6hb - c\{(T - t_1)^2 + (T - t_2)^2 + (T - t_3)^2 + (T - t_4)^2\}.$$

CHRONOMÈTRES.

Représentant les termes de ces équations par des symboles pour abréger, et posant :

$$\alpha = -c(6 - 2T\gamma)$$
$$\alpha' = -c(6' - 2T\gamma')$$
$$\alpha'' = 4hb - c(6'' - 2T\gamma'')$$
$$\alpha''' = 4a + 6hb - c\{(T - t_1)^2 + (T - t_2)^2 + (T - t_3)^2 + (T - t_4)^2\},$$

ces relations conduisent aux expressions suivantes :

$$T^0 = \frac{1}{2}\,\frac{\alpha 6' - \alpha' 6}{\alpha\gamma' - \alpha'\gamma} \qquad c^0 = \frac{\alpha\gamma' - \alpha'\gamma}{6'\gamma - 6\gamma'}$$

$$b^0 = \frac{1}{4h}\{\alpha'' + c(6'' - 2T\gamma'')\}$$

$$a^0 = \frac{1}{4}\{\alpha''' - 6hb + c(T - t_1)^2 + (T - t_2)^2 + (T - t_3)^2 + (T - t_4)^2)\}.$$

Dans un observatoire, des observations de 10 en 10 jours sont à peu près suffisantes ; des observations mensuelles sont préférables et fournissent un degré de précision plus élevé.

Ainsi, M. Lieussou, observant un chronomètre n° 200 de M. Winnerl, a trouvé, pour le mois d'octobre 1847, janvier, avril et juillet 1848, les chiffres suivants :

ÉTATS OBSERVÉS.		MARCHE ET TEMPÉRATURE MOYENNE OBSERVÉES DANS UN MOIS.				ÉQUATIONS DE CONDITION.
Date.	État.	Date.	Intervalle.	Marche.	Température.	
30 septembre 1847.	$+ 1^m,55^s,2$	15 octobre.		$+ 1^s,21$	15°,0	$1^s,21 = a + b - c(T - 15)^2$
30 octobre	$+ 2^m,31^s,5$		91 jours			
31 décembre	$+ 3^m,18^s,9$	15 janvier.		$- 0^s,69$	2°,3	$0^s,69 = a + \frac{365}{4}b - c(T - 2,3)^2$
30 janvier 1848. . .	$+ 2^m,58^s,2$		91 jours			
31 mars	$+ 3^m,27^s,4$	15 avril . .		$+ 1^s,44$	12°,0	$1^s,44 = a + 2\frac{365}{4}b - c(T - 12)^2$
30 avril.	$+ 4^m,09^s,7$		91 jours			
30 juin.	$+ 5^m,55^s,9$	15 juillet. .		$+ 1^s,72$	21°,0	$1^s,72 = a + 3\frac{365}{4}b - c(T - 21)$
30 juillet.	$+ 6^m,47^s,6$					

On en déduit :

$\alpha = + 4^s,00 \quad 6 = 356 \quad \gamma = + 22 \quad \alpha'' = + 2^s,61$

$\alpha' = - 1^s,79 \quad 6' = 160 \quad \gamma' = -0^s,5 \quad \alpha''' = + 3^s,65$

et par suite

$$T^0 = \frac{1}{2}\,\frac{640 + 637}{2 + 35} = \frac{1}{2}\,\frac{1277}{37} = \frac{1277}{74} = 17^\circ$$

$$c^0 = \frac{37}{3402} = 0^s,010$$

$$b^0 = \frac{1}{365}\{2{,}61 + 0{,}01(354 - 31(33 - 17{,}5)\} = 0^s0024$$

$$a^0 = \tfrac{1}{4}\{3^s,65 - 4^s,32 + 0^s,01(260)\} = \tfrac{1}{4}\,493 = + 1^s,23.$$

$a = 1^s,23$ correspond au 15 octobre 1847 ; l'équation du chronomètre 200 de Winnerl, conclue de 4 marches moyennes mensuelles d'octobre 1847, janvier, avril et juillet 1848, est donc :

$$m = 1^s,23 + 0^s,0024\,x - 0^s,01\,(17^\circ - t)^2.$$

Avec les observations de 4 autres mois, M. Lieussou trouve pour le même chronomètre l'équation suivante, rapportée au 25 *janvier* 1848 :

$$m = 1^s,56 + 0{,}0024\,x - 0^s,01\,(17^\circ - t)^2,$$

qui ne diffère de la précédente que par la marche initiale, qui est un peu plus forte de $0^s,09$ que ne le demande la différence de point de départ.

M. Lieussou rapporte, dans son mémoire, les vérifications de la marche d'un grand nombre de chronomètres d'après cette méthode, et un parfait accord règne entre les marches observées et calculées. Nous en rapporterons un exemple plus loin.

La précision des résultats, consignés au tableau ci-après, a été obtenue pour les nombreux chronomètres que M. Lieussou a observés, et prouve que la formule proposée :

$$m^0 = a^0 + b^0\,x - c^0\,(T - t)^2,$$

résout parfaitement le problème proposé. Sa discussion va nous permettre d'établir le *régime général d'un chronomètre*.

La constante T est la température spéciale à laquelle le chronomètre prend sa marche maxima ; elle est, comme nous l'avons vu, la moyenne arithmétique des deux températures pour lesquelles l'horloger a établi l'égalité de marche ; pour un chronomètre bien réglé, cette constante doit être comprise entre 15 et 20°.

Le coefficient c est la diminution de marche diurne pour un changement de température d'un degré centigrade en plus ou en moins, à partir de T_0. Il est la mesure de l'imperfection de la compensation, et se conserve invariable tant que le spiral et le balancier

ANNÉES.	MOIS.	TEMPÉRATURE.	CHRONOMÈTRE 627 BRÉGUET $m = 3^s,60 - 0^s,40\,x - 0^s,02\,(8^\circ - t)^2$				
			$3^s,60 - 0^s,40\,x$	$-0^s,02\,(8^\circ - t)^2$	MARCHE		
					Calculée.	Observée.	Différence.
1849	Avril. . .	9°,6	$-0^s,00$	$-0^s,06$	$-0^s,06$	$-0^s,60$	$+0^s,54$
	Mai. . . .	15°,2	$-0^s,40$	$-1^s,05$	$-1^s,45$	$-1^s,84$	$+0^s,39$
	Juin. . . .	20°,0	$-0^s,80$	$-2^s,88$	$-3^s,68$	$-3^s,89$	$+0^s,21$
	Juillet. . .	20°,6	$-1^s,20$	$-3^s,18$	$-4^s,38$	$-4^s,43$	$+0^s,05$
	Août. . . .	20°,0	$-1^s,60$	$-2^s,88$	$-4^s,48$	$-4^s,58$	$+0^s,10$
	Septembre.	19°,0	$-2^s,00$	$-2^s,42$	$-4^s,42$	$-4^s,82$	$+0^s,40$
	Octobre . .	15°,2	$-2^s,40$	$-1^s,04$	$-3^s,44$	$-3^s,30$	$-0^s,14$
	Novembre.	10°,6	$-2^s,80$	$-0^s,18$	$-2^s,98$	$-2^s,95$	$-0^s,03$
	Décembre. .	7°,0	$-3^s,20$	$0^s,00$	$-3^s,20$	$-3^s,13$	$-0^s,07$
1850	Janvier. . .	3°,0	$-3^s,60$	$-0^s,50$	$-4^s,10$	$-4^s,17$	$+0^s,07$
	Février. . .	7°,5	$-4^s,00$	$0^s,00$	$-4^s,00$	$-3^s,95$	$-0^s,05$
	Mars. . . .	7°,5	$-4^s,40$	$0^s,00$	$-4^s,40$	$-4^s,74$	$+0^s,34$
	Avril. . . .	11°,6	$-4^s,80$	$-0^s,26$	$-5^s,06$	$-5^s,02$	$-0^s,04$
	Mai	13°,5	$-5^s,20$	$-0^s,60$	$-5^s,80$	$-5^s,75$	$-0^s,05$
	Juin. . . .	18°,3	$-5^s,60$	$-2^s,10$	$-7^s,70$	$-7^s,35$	$-0^s,35$

ne sont pas modifiés; pour un bon chronomètre, ce coefficient ne doit pas dépasser $0^s,02$.

Le coefficient b est le changement de marche du chronomètre dans l'unité de temps. Il paraît varier un peu à la longue, mais il est sensiblement constant pendant un an (temps bien supérieur à la durée des plus longues traversées avant de rencontrer un observatoire). Il peut être considéré comme la mesure du défaut d'isochronisme entre les grandes et les petites oscillations du balancier; pour un bon chronomètre, il ne doit pas dépasser $\pm 0^s,01$ par jour ou $\pm 0^s,30$ par mois.

La constante u est la marche initiale du chronomètre à T°; elle est la mesure de l'imperfection du réglage de la montre sur le temps moyen à la température T. Cette marche initiale augmente ou diminue d'une quantité bx proportionnelle au nombre de jours x; b étant généralement positif et inférieur à $0^s,01$. Les horlogers établissent habituellement la marche initiale en retard de quelques secondes sur le temps moyen, de manière à ce qu'en trois ans, elle s'en écarte le moins possible. On comprend, en effet, que a égalant $-5^s,0$ au moment où la montre sort de chez l'artiste, sera égale à $-5^s,00 + 548\,b$ ou environ $0^s,0$ après 18 mois et $-5^s,00 + 1094\,b$, soit environ $+5^s,00$ après trois ans.

Les quatre constantes a, b, c et T, qui entrent dans l'équation de la marche d'un chronomètre, peuvent être déterminées par quatre équations de condition données par quatre marches quelconques, observées à des époques et à des températures diverses; elles le seront avec d'autant plus de précision, que l'intervalle des observations et l'écart des températures seront plus grands. Toutefois, il importe de remarquer que si, pour un intervalle trop court, les constantes sont affectées par l'erreur inhérente à des observations isolées, pour un intervalle trop grand elles seront entachées de l'erreur que l'on commet en prenant la marche moyenne pour la marche correspondante à la température moyenne.

Ces quatre constantes ayant été préalablement déterminées et vérifiées par un nombre suffisant d'équations de condition; de plus, l'état initial E_0 du chronomètre sur le temps moyen du lieu de départ étant connu, l'équation :

$$m = u + bx - c\,(T-t)^2$$

donnera, au moyen de la série des températures diurnes t $t_2 \ldots t_4$ observées pendant la traversée, la série des marches diurnes m_1 m_2 $m_3 \ldots$, et par suite la série des états diurnes du chronomètre E_1 E_2 $E_3 \ldots$ sur le temps moyen du lieu de départ.

Emploi de l'équation de la marche d'un chronomètre à la détermination de la longitude à la mer.

La longitude d'un lieu, en temps, est donnée par la différence des états d'un chronomètre sur l'heure du lieu et sur l'heure simultanée de Paris.

A bord d'un bâtiment, on déduit l'état de l'heure du lieu, de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon de la mer mesurée avec un cercle à réflexion ou un sextant; et on estime l'heure de Paris, en ajoutant à l'état constaté au départ la marche diurne initiale multipliée par le nombre de jours écoulés.

L'état d'un chronomètre sur l'heure du bord est obtenu, par un bon observateur, à deux secondes près; mais son état sur l'heure de Paris, grossièrement estimé dans l'hypothèse d'une invariabilité de marche impossible, comporte une erreur bien autrement considérable, différente pour chaque chronomètre et chaque traversée.

Pour apprécier la grandeur de cette erreur, M. Liouville la calcula pour le cas le plus simple, celui où la température diurne varierait progressivement d'une quantité p par vingt-quatre heures. En prenant pour b, c les valeurs moyennes que fournit la pratique, et faisant l'hypothèse d'un changement de température de 8° en dix jours de navigation, de 12° en vingt jours, de 15° en un mois et de 21° en deux mois, les erreurs en longitude varient, selon les circonstances, entre les limites suivantes :

Pour une traversée de	10 jours : de — 6milles,5 à + 5milles,6.	
	20 jours : de — 18 2 à + 14 1.	
	30 jours : de — 32 6 à + 23 1.	
	60 jours : de — 82 6 à + 45 0.	

On voit combien l'erreur devient grave et dangereuse bientôt pour le navigateur, et par suite combien il serait utile d'employer la méthode qui permet de les corriger, méthode dont l'application pourrait être très-simplifiée, dans la pratique, par l'emploi d'une table donnant immédiatement la correction à faire à la mar-

che du chronomètre, selon l'âge des huiles et la température observés.

Dans tout ce qui précède, on n'a pas tenu compte des perturbations que diverses circonstances inhérentes à la navigation, telles que les tempêtes, le tir du canon, etc., peuvent apporter à la marche d'un chronomètre; ces perturbations accidentelles sont de courte durée, car elles cessent probablement avec la cause qui les produit; elles ne doivent tout au plus altérer que 5 ou 6 marches sur une traversée de deux mois; dès lors elles ne sauraient avoir un effet comparable à l'influence progressive du temps et de la température. En tous cas, ce n'est que par la même voie empirique que l'on peut tenir compte de ces perturbations qui pourront être plus facilement appréciées lorsque les effets permanents du temps et de la température auront été mis de côté.

Nous avons fait des emprunts étendus au mémoire de M. Lieusson, parce qu'il nous paraît ouvrir une voie nouvelle. Il part d'un principe parfaitement vrai et qu'on peut généraliser. Tout chronomètre construit solidement, dont les pièces, les assemblages ne s'altèrent pas, donne des résultats de mesure du temps qui ne varient que par des causes de changements qui peuvent être appréciées par des expériences préparatoires. D'où cet important résultat que l'observation faite avec une formule, une table de correction convenable, pourra donner des résultats d'une merveilleuse exactitude avec des instruments qui n'auront pas exigé des dépenses considérables de réglage, de tâtonnement fort coûteux pour masquer imparfaitement des erreurs notables dans des cas non prévus, mais surtout permettra d'apprécier les perturbations auxquelles les ressources de la mécanique ne donnent pas le moyen de remédier. C'est un important progrès pour la navigation, si intéressée à la précision des observations chronométriques et à la multiplication des appareils à prix modéré pour la marine marchande.

CLEPSYDRES. Les anciens avaient employé, pour obtenir la mesure du temps, le moyen le plus simple de produire un mouvement uniforme et par suite proportionnel au temps, l'écoulement de l'eau, sous une pression constante, dans leurs horloges à eau ou clepsydres.

La condition essentielle à remplir, celle d'une pression constante dans le réservoir d'où l'eau s'écoule, est facile à obtenir.

Pour cela, en effet, il suffit d'y entretenir un niveau constant; on y arrive très-facilement au moyen de la disposition suivante. Un réservoir (fig. 3466) est con-



3466.

stamment alimenté à l'aide d'un robinet. La quantité d'eau fournie par ce robinet est plus grande que celle qui doit traverser l'orifice pratiqué dans la paroi du réservoir par lequel on fera écouler l'eau. Par suite de cet excès du liquide qui arrive dans le réservoir, le niveau tend à s'élever de plus en plus; mais une décharge latérale s'y oppose en laissant constamment sortir le liquide excédant. Le niveau de l'eau reste ainsi invariable dans le réservoir, et par suite l'écoulement s'effectuera par l'orifice sous une charge constante, avec une vitesse qui reste toujours la même.



3467.

Pour mesurer ainsi un intervalle de temps quelconque, au moyen de l'écoulement ainsi obtenu, il n'y a plus qu'à recueillir l'eau qui sort du réservoir pendant cet intervalle de temps, et à en déterminer le volume. A cet effet, l'eau sortant du réservoir tombe dans un vase de forme cylindrique ou prismatique, et s'y accumule de plus en plus. Le niveau de l'eau montera dans ce vase avec une vitesse uniforme et marquera le temps par la position qu'il occupera, et qui sera déterminée par une échelle graduée fixée au vase.

3468.

Pour rendre les indications plus visibles et aussi pour donner plus d'élégance à l'appareil, on plaçait le plus souvent un flotteur sur le vase dans lequel l'eau se rend. Ce flotteur, formé d'un morceau de liége, portant un index, est placé à côté d'une échelle graduée et vient correspondre aux diverses divisions de cette échelle, à mesure que le liquide se soulève en s'accumulant de plus en plus dans le vase. C'est ce que montre la figure 3467, qui représente une clepsydre de cette espèce. L'eau, dont l'écoulement sert à mesurer le temps, se rend dans une capacité située vers le bas de l'appareil, et fait monter successivement un flotteur qui supporte les deux petites figures placées de chaque côté de la colonne supérieure.

Une autre disposition adoptée plus tard avait pour objet de faire marquer le temps par une aiguille mobile sur un cadran, comme cela a lieu dans nos hor-

loges actuelles. A cet effet, le flotteur A (fig. 3468), auquel l'eau de la clepsydre communique un mouvement ascendant, est attaché à l'extrémité d'une chaîne qui s'enroule autour d'un cylindre horizontal B, et qui supporte à son autre extrémité un contre-poids C, un peu plus léger que le flotteur A. Le cylindre B peut librement tourner sur lui-même; il porte à une de ses extrémités une aiguille qui le suit dans ce mouvement, et qui parcourt ainsi toute la circonférence d'un cadran adapté à la face extérieure de l'appareil. Lorsque le flotteur A monte, le contre-poids C descend et la chaîne fait tourner le cylindre B, ainsi que l'aiguille qui lui est fixée; cette aiguille marque le temps par la position qu'elle occupe sur le cadran.

La physique moderne fournirait plusieurs moyens d'obtenir un écoulement constant : le vase de Mariotte, par exemple, pourrait être employé à cet effet, si les clepsydres offraient un autre intérêt qu'un intérêt historique, en présence des développements de l'horlogerie moderne. Nous ne nous y arrêterons pas; nous citerons seulement l'application du siphon, déjà faite par Héron d'Alexandrie, comme une disposition ingénieuse pour fournir la mesure du temps à l'aide des divisions égales du vase qui reçoit l'eau qui s'en écoule.

3469.

Soit un flotteur surmontant l'eau renfermée dans un vase, et soit assemblé avec ce flotteur un siphon (fig. 3469). Ce siphon suit les mouvements de l'eau, et comme la distance entre la surface de celle-ci et le point de sortie à l'extrémité du siphon est toujours la même, la vitesse de l'écoulement est constante, et par suite aussi celle de la descente du flotteur le long de l'échelle qui fournit la mesure du temps.

CLOUS DE TAPISSIER. L'élégante fabrication de ces produits, par des procédés nouveaux, a été créée de toutes pièces par deux ingénieurs inventeurs. Nous ne pouvons mieux faire pour la décrire que de transcrire ici l'excellent rapport fait à ce sujet par M. Duméry à la Société d'encouragement.

« Le clou doré pour tapissiers est composé d'une tête hémisphérique creuse et d'une tige pointue formant le corps du clou. Jusqu'ici ces sortes de clous avaient été presque exclusivement obtenus par la fonderie et avaient conservé, avec le caractère d'irrégularité des objets fondus, l'inconvénient de posséder, d'une part, des tiges peu résistantes qui se rompaient en les implantant dans les meubles; d'autre part, des têtes dont les bords, à bavures coupantes, étaient susceptibles d'altérer les étoffes qu'ils pressaient.

« Le problème qui s'offrait à M. Carmey consistait donc :

« 1° A obtenir des tiges rondes, uniformes de longueur, aussi pointues et aussi déliées que leur destination le réclamait;

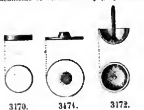
« 2° Des têtes identiques les unes aux autres, à bords réguliers et composées de matières différentes de celle de la tige, sans faire intervenir la fonderie ni la soudure.

« Pour arriver à solution, M. Carmoy a eu recours à trois opérations : un découpage et deux estampages.

« La demi-sphère du clou devant avoir une épaisseur d'environ 1/4 de millimètre, M. Carmey prend de la planche de cuivre de 1 millimètre d'épaisseur et y découpe des flans plus petits que le développement de la tête; puis, à l'aide d'un premier estampage, il amincit ces petits flans et les étend à la dimension qu'ils doivent avoir; mais la matrice qui produit cette opération possède, vers son centre, une creusure annulaire dans laquelle la matière vient se loger et donne au produit l'aspect d'un chapeau rond à large bord dont le dessous serait fermé et dont l'ouverture aurait lieu à la partie supérieure (fig. 3470 et 3471).

« Faisons remarquer, en passant, que, dans ce premier estampage, en même temps que les bords s'aplatissent, la couronne saillante, s'emparant de la matière centrale, augmente de hauteur et présente cette particularité de sortir de la presse avec un millimètre et un tiers d'épaisseur alors que le cuivre, avant la compression, ne possédait que 1 millimètre.

« Le deuxième et dernier estampage qui doit terminer le produit consiste à placer ce petit flan dans une feuillure circulaire pratiquée sur le bord d'une matrice présentant, en creux, la forme que l'on désire donner à la tête du clou; l'on introduit dans le cylindre qui surmonte le flan une pointe de Paris à tête camarde.



3170. 3471. 3172.

« Les trois pièces en cet état, c'est-à-dire :

« La matrice d'abord,

« Le flan posé sur la matrice et prêt à y être comprimé,

« Puis enfin la tige placée verticalement et la pointe en haut,

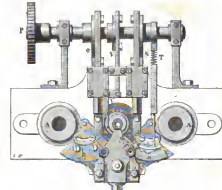
« M. Carmoy exerce sur le flan, avec un poinçon convexe ayant extérieurement la forme intérieure de la tête du clou, une pression capable de déterminer l'emboutissage ou transformation du plan horizontal en une calotte ou tête hémisphérique.

« Le poinçon emboutisseur est percé, à son centre, d'un trou suffisant pour contenir la tige du clou pendant l'emboutissage; et, pour que cette tige ne se soulève pas dans le cours de l'opération, elle est maintenue appuyée contre le plateau à emboutir par un petit ressort à boudin logé dans l'axe du poinçon presseur.

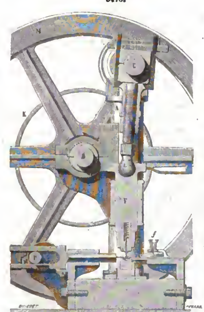
« Le poinçon presseur ne se borne pas, comme on le pense bien, à emboutir le flan métallique et à le transformer en une sorte de demi-sphère, il foule encore le cylindre central, de manière à en rabattre la matière sur la tige et à convertir l'anneau cylindrique en une sorte de cône emprisonnant la tête de la pointe qu'on a voulu y faire adhérer; de la sorte, on obtient un produit plus léger, à surface extérieure parfaitement lisse, ne coupant pas les étoffes, jouissant d'une plus grande régularité, possédant une solidité inconnue jusqu'ici, et surtout des tiges déliées et très-résistantes.

« Ces clous se fabriquent chez M. Carmey en toutes matières : en cuivre, en zinc, en doublé d'or, en fer et en acier; ils sont très-appréciés et très-demandés, et

la chiffre de leur fabrication ne s'élève pas à moins de quatre-vingt-dix mille par jour.



3473.



3474.

« Le produit imaginé par M. Carmoy est de nature à satisfaire à tous les genres d'exigences ; mais, pour qu'il devint objet de commerce, il fallait qu'il fût obtenu mécaniquement.

« M. Carmoy a confié cette seconde partie du problème à M. Clément Colas, de Belleville, et voici comment cet habile mécanicien a répondu à l'appel qui lui a été fait, en combinant une machine qui rappelle heureusement la presse monétaire, et que représentent les figures 3473 et 3474.

« Dans les presses monétaires, les flans destinés à produire les pièces de monnaie sont placés dans un tube vertical en dehors du point d'estampage, et une espèce de main métallique décrivant un mouvement circulaire en transporte un à la fois entre les matrices à chacune des évolutions de la machine.

« M. Clément Colas a placé au-devant de sa presse non pas seulement un de ces poseurs mécaniques, mais deux (A, A), l'un à droite, l'autre à gauche ; chaque flan se place dans celui de gauche qui part le premier déposer ce flan dans la feuillure de la matrice et revient à sa place ; chaque tige de clou se met dans celui de droite qui le transporte au centre du flan déjà placé et reste dans cette position jusqu'à ce que le poinçon ait accompli une partie de sa descente et ait, à l'aide du ressort intérieur (fig. 3475), exercé sur la pointe du clou une pression qui le maintienne en contact avec le flan ; dès que la pointe est maintenue par ses deux extrémités, le poseur qui l'a apportée se retire, et le poinçon presseur, mû par un excentrique, achève sa course et accomplit le double phénomène d'emboutissage de la demi-sphère et de sertissage de la matière réservée en saillie au centre du flan pour emprisonner la tête du petit clou central.

« Après chaque opération, un troisième bras enlève de la matrice le produit fabriqué, et le rejette au dehors pour faire place à un nouveau.

« Cette machine fabrique vingt mille clous par jour, tandis que le travail à la main n'en fournit que six mille : elle est simple, bien entendue ; elle fonctionne sans bruit et sans chocs, et, si le produit qu'on en obtient est de nature, par sa nouveauté, par les besoins auxquels il satisfait, et surtout par les combinaisons qui ont présidé à sa conception, à fixer l'attention des membres du Conseil, nous avons la satisfaction de reconnaître que le mécanicien a été le digne émule de l'auteur et que sa machine répond parfaitement à sa destination. »

3475.

CO-LAMINEUR. La nécessité de déplacer latéralement ou de ramener les pièces qui sortent d'un laminoir, du côté où les cylindres peuvent l'entraîner, lorsque le train n'est formé que par deux cylindres, ou de les élever lorsqu'il en comporte trois, rend le laminage des pièces longues et pesantes extrêmement pénible et difficile. Plusieurs systèmes de contre poids ont été inventés pour faciliter le travail ; nous donnerons ici la solution complète du problème telle qu'elle a été réalisée, en profitant des travaux antérieurs, par le directeur de l'usine de Decazeville, M. Cabrol, pour supprimer tout relevage des pièces lourdes. Il a fait exécuter cet ensemble de dispositions pour accélérer et faciliter le laminage de rails Barlow, et, en général, de toutes les pièces de grandes dimensions et d'un poids considérable.

Ces dispositions comprennent :

1° Deux chariots mobiles, sur lesquels se placent les lamineurs, et qui présentent des supports disposés de manière que la barre soit constamment bien soutenue pendant toute l'opération, et que chaque lamineur n'ait rien autre chose à faire qu'à la diriger avec ses tenailles ;

2° Un système de pistons mus par l'eau ou par la vapeur, qui, au moyen d'une transmission convenable,

peuvent faire mouvoir les chariots ci-dessus, parallèlement à l'axe des laminoirs, et les arrêter à volonté devant chaque cannelure;

3° Enfin, un ensemble de deux cages, munies chacune d'une paire de cylindres marchant en sens contraire; ces cylindres, de 0m,70 de diamètre, reçoivent une vitesse de 70 tours par minute, et sont mus par deux machines de 150 chevaux chacune.

On comprend comment fonctionne tout ce système: la barre qui traverse une première cannelure est reçue sur l'un des deux chariots; le chariot est amené rapidement devant la cannelure convenable du second laminoir: le lamineur, qui a été déplacé avec le chariot, engage aussitôt la barre dans cette deuxième cannelure; dès que la barre est passée, le chariot est ramené devant la première cage pour recevoir la barre à sa sortie d'une troisième cannelure, et ainsi de suite. Des manœuvres semblables se font de l'autre côté des cages.

Par ce système, on économise la main-d'œuvre qui est nécessaire pour le relevage des pièces dans le système ordinaire à une seule cage, et l'on évite la perte de temps qu'entraîne ce relevage. D'un autre côté, n'ayant pas, comme on le pratique dans quelques usines, à changer le sens de rotation des cylindres entre deux passes, on peut faire aller ceux-ci avec une plus grande vitesse. En un mot, on réalise une grande économie de main-d'œuvre et de temps par ces nouvelles dispositions. Elles sont appelées, selon nous, à rendre de grands services, non-seulement par l'économie directe qu'elles procurent dans la fabrication des grosses pièces, mais surtout parce qu'elles tendront à vulgariser la fabrication, avec les diverses natures de fer, de pièces regardées jusqu'à ce jour comme ne pouvant être fabriquées que d'une manière exceptionnelle.

COMBUSTION. Dans le beau travail sur la combustion dont Ebelmen a enrichi cet ouvrage, ce savant a indiqué dans quel cas l'essai d'un combustible par la litharge peut être suffisant pour la pratique, bien que fondé sur un principe dont les expériences de Dulong ont prouvé l'inexactitude. Nous compléterons cette indication par celle de la méthode que Dulong a proposée, et qui paraît donner, pour les composés organiques hydrogénés, une approximation très-satisfaisante, conforme aux résultats de ses expériences. Elle doit remplacer, dans ces cas, celle fondée sur la croyance que la chaleur dégagée était proportionnelle à la quantité d'oxygène consommé; ce qui était revenir indirectement à la théorie de Lavoisier. La combustion de charbon pour former de l'oxyde de carbone, et celle de celui-ci pour être converti en acide carbonique donnant des quantités de chaleur dans le rapport de 1 à 3 pour un même poids d'oxygène, prouve que cette théorie n'est pas admissible. Celle de Dulong est au contraire parfaitement suffisante pour la pratique, surtout lorsqu'elle est appliquée avec quelque intelligence du phénomène que nous venons d'analyser.

Les corps combustibles qu'emploie l'industrie ne contenant, pour ainsi dire, jamais que de l'hydrogène et du carbone comme substances utiles à la combustion, les produits de la combustion étant les mêmes que ceux qui résultent de la combustion de ces corps isolés, on aura une approximation très-satisfaisante en prenant, pour la chaleur produite par la combustion du corps composé, celle qui résulterait de la combustion de ses éléments. En opérant ainsi, on ajoute à la chaleur produite par les éléments : la chaleur due au travail correspondant à l'équivalent mécanique du corps combustible, la chaleur équivalente au travail nécessaire pour rompre la combinaison de ces atomes, emmagasinée par cette cohésion chimique, comme nous le montrons à l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR, quantité petite relativement à celle produite par la combustion.

Dans la plupart des produits composés de carbone et d'hydrogène d'origine végétale, le travail correspondant aux forces de cohésion n'est pas assez grand pour que les erreurs commises par cette manière de raisonner soient bien sensibles; c'est ce que prouvent les calculs ci-après empruntés à M. Péclet :

« Vérifions, dit-il, si, comme nous l'avons supposé, la quantité de chaleur produite par un composé est égale à la somme des quantités de chaleur qui seraient produites par chacun de ses éléments.

En partant de cette supposition, on trouve :

Pour l'hydrogène proto-carboné :

$$\left.\begin{array}{l} 75^{g},17 \times 7170 = 5389 \\ 24^{g},83 \times 34742 = 8626 \end{array}\right\} 14015 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour l'hydrogène bi-carboné :

$$\left.\begin{array}{l} 85^{g},8 \times 7170 = 6151 \\ 14^{g},2 \times 34742 = 4933 \end{array}\right\} 11084 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour l'essence de térébenthine :

$$\left.\begin{array}{l} 88^{g},4 \times 7178 = 6352 \\ 11^{g},6 \times 34712 = 4030 \end{array}\right\} 10382 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour l'alcool (déduction faite, comme dans les cas analogues, de l'hydrogène pouvant former de l'eau avec l'oxygène du composé) :

$$\left.\begin{array}{l} 51^{g},98 \times 7170 = 3726 \\ 9^{g},41 \times 34742 = 3279 \end{array}\right\} 7005 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour l'éther sulfurique :

$$\left.\begin{array}{l} 65^{g},31 \times 7170 = 4682 \\ 10^{g},66 \times 34742 = 3703 \end{array}\right\} 8385 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour l'huile d'olive :

$$\left.\begin{array}{l} 77^{g},21 \times 7170 \\ 12^{g},18 \times 34742 \end{array}\right\} 9766 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour le suif :

$$\left.\begin{array}{l} 79^{g} \times 7170 = 5664 \\ 10^{g},6 \times 31712 = 3474 \end{array}\right\} 9138 \text{ pour } 1^{g}.$$

Pour la cire :

$$\left.\begin{array}{l} 81^{g},6 \times 7180 = 5850 \\ 12^{g},85 \times 34642 = 4464 \end{array}\right\} 10314 \text{ pour } 1^{g}.$$

Les nombres trouvés par Dulong pour les premiers corps étant :

Hydrog. prot. carboné.	Hydrog. bi-carboné.	Essence.	Alcool.	Éther.	Huile.
13205	12032	10836	6855	9430	9862

Ceux qu'on obtient en prenant la somme des effets produits par les éléments sont pour les mêmes corps :

14015	11084	10382	7005	8385	9866

Ces derniers nombres sont assez rapprochés des premiers pour justifier le principe d'après lequel ils ont été calculés. »

COMPRESSIBILITÉ DES GAZ. Jusque dans ces dernières années, la loi de la compressibilité des gaz, de la réduction de leur volume en raison de la pression, était considérée comme une des lois les plus certaines de la physique. Formulée par Mariotte, qui l'avait conclue d'expériences faites sur une petite échelle, à l'aide de simples tubes barométriques, elle consiste en ce que *les volumes sont en raison inverse des pressions*. Cette loi, confirmée par plusieurs expérimentateurs, et notamment par Dulong et Arago pour l'air, pour des pressions de 1 à 30 atmosphères, a évidemment une exactitude suffisante pour la pratique, puisque les différences ont échappé à ces éminents physiciens.

Les théoriciens ont unanimement adopté dans les recherches analytiques la loi de Mariotte, qui se rapporte aux gaz théoriques dont nous concevons la manière d'être d'après l'ensemble des phénomènes. Quel

est donc l'élément négligé lorsqu'on applique cette loi dans la pratique? Avant de dire quelques mots à ce sujet, donnons les chiffres des expériences très-précises de M. Regnault qui infirment cette loi.

VALEURS de $\frac{V_1}{V_0}$	PRESSIONS P Correspondant aux valeurs $\frac{V_1}{V_0}$ pour			
	L'air.	L'azote.	L'acide carbonique.	L'hydrogène.
1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
2	1,997828	1,998634	1,98292	2,001116
4	3,987432	3,994972	3,89736	4,006856
8	7,945696	7,964112	7,51936	8,0[illegible]3914
16	15,804180	15,859712	14,92608	16,16[illegible]642
20	19,719880	19,788580	16,70540	20,268720

La plus grande différence que présentent ces chiffres avec la loi de Mariotte est celle qui se rapporte à l'acide carbonique. Que ce gaz se comprime plus rapidement que le gaz théorique, qu'une différence très-sensible se manifeste pour une compression de 20 atmosphères lorsque l'on sait que ce gaz se liquéfie sous une pression de 32 atmosphères, cela semble naturel, et l'on est porté à chercher à ajouter à la loi de Mariotte un terme dans lequel entre le point de liquéfaction d'un gaz, terme négligeable pour ceux qui ne se liquéfient qu'à des pressions très-élevées. Cela paraît d'autant plus admissible que M. Regnault a vu cette différence devoir insensible pour le gaz carbonique chauffé à 100°.

Mais si les différences en moins de l'acide carbonique, de l'air et de l'azote peuvent ainsi s'expliquer d'une manière assez plausible, il n'en est pas de même de la différence *en plus* que présente l'hydrogène. Elle me semble infirmer tout à fait l'ancienne notion de la constitution des gaz, formés de molécules en repos, séparées par des actions mutuelles répulsives, et fournir une confirmation de la nouvelle hypothèse que ces molécules possèdent un mouvement vibratoire permanent, dont l'intensité est, pour une pression donnée, en raison de la température.

Avec cette manière de considérer les gaz, il n'est plus surprenant que l'hydrogène, dont la densité n'est que 1/15e de celle de l'air, ténuité très-au-dessous de la moyenne, conserve un ressort plus parfait que l'air, et que par suite la loi de Mariotte, qui s'applique assez bien à celui-ci, donne pour l'hydrogène des résultats trop faibles.

Le mouvement vibratoire de deux gaz et les forces vives des molécules d'un même volume gazeux mV^2, Mv^2, étant égales pour une même température et une même pression, on voit que si m étant très-petit par rapport à M, V^2 sera très-grand par rapport à v^2, et par suite, pour une même diminution de vitesse (effet produit par le mouvement, contraire à l'expansion, d'un piston fermant un cylindre dans lequel le gaz est renfermé), la perte de forces vives, comparativement à la quantité totale que possède le gaz, est moindre.

Lorsque l'on sera parvenu à déterminer, par les expériences que j'indique à l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR, les quantités de travail tG nécessaires pour liquéfier un gaz G à la température zéro, l'équation $tG = \frac{mV^2}{2}$ donnera la valeur de V, ou des valeurs proportionnelles pour les différents gaz, les équivalents chimiques donnant les rapports des molécules. On pourra vérifier alors par le calcul, pour les divers gaz, les curieux résultats obtenus par M. Regnault, au moyen d'expériences précises.

COMPTEUR A EAU. Voyez JAUGEAGE.

CORSETS TISSÉS. L'exécution des vêtements tout d'une pièce, au moyen du tissage, a été, jusqu'à présent, presque exclusivement limitée aux divers tricots et aux étoffes à mailles en général. Ces étoffes, engendrées par la révolution d'un fil non tendu dans un plan quelconque pour produire des mailles dont le nombre peut varier à chaque course du fil, sont éminemment propres aux tissus à formes, lorsqu'ils ne sont destinés qu'à recouvrir exactement des contours; mais leur élasticité toute particulière les rend insuffisants quand il s'agit de vêtements qui doivent aussi maintenir certaines parties du corps, comme on l'exige des corsets. Les éléments ordinaires des étoffes à chaînes et à trames serrées, tendues et entrelacées dans un même plan, sont moins propres encore à réaliser des vêtements de ce genre, parce qu'ils ne présentent que des surfaces planes d'une résistance uniforme dont l'emploi dans la fabrication des corsets en pièces amènerait une compression trop forte aux endroits qui exigent une certaine liberté, si l'on n'y combinait une coupe présentant les fils de biais. Il y a donc nécessité de modifier ces éléments dans l'exécution des tissus à formes en général et des corsets en particulier.

Grégoire, artiste d'une habileté hors ligne, qui a laissé des étoffes, ou, pour mieux dire, des tableaux aussi remarquables au point de vue de l'art proprement dit qu'au point de vue mécanique, est, à notre connaissance, l'un des premiers qui se soit appliqué à la solution du problème, dès 1805.

M. Verly, mécanicien, à Bar-le-Duc, s'en est occupé depuis pour l'exécution spéciale des corsets d'une seule pièce. Les dispositions adoptées par tous deux reposent sur des modifications de formes et de montage du cylindre-ensouple de l'étoffe.

Le premier se sert d'une ensouple à courbure variable déterminée à l'avance et disposée d'une manière particulière. L'ensouple du second est formée d'une espèce de chaîne sans fin qui permet aux fils de prendre des inflexions et de décrire certaines courbures pendant le travail. Ces moyens, assez compliqués, exigent beaucoup d'habileté dans leur mise en œuvre.

Les procédés imaginés par M. Fontaine, au contraire, ne présentent pas plus de difficultés que le tissage d'un article broché ordinaire. Il assimile les élargis, ou pièces cambrées du dos, de la poitrine et des hanches, à des figures quelconques; il les développe à la mise en carte et les lie par les moyens en usage. Quant aux pièces droites et aux gaines pour les baleines exécutées par un entrelacement spécial des fils, une petite machine supplémentaire, analogue à celle dont on se sert dans la fabrication des châles, en est chargée. Enfin, comme l'embuvage ou la quantité de fils par unité de surface varie dans ce tissu, la chaîne est divisée sur les roquetins d'une cantre, disposition connue et appliquée, dans le même but, à la rubanerie, à la passementerie, à la moquette anglaise, etc.

On voit que, jusqu'ici, il a suffi à M. Fontaine d'être familiarisé avec toutes les ressources du tissage pour en obtenir des résultats nouveaux. Ces ressources sont cependant insuffisantes pour réaliser la dernière partie du problème mécanique en question, l'enroulement d'une étoffe qui se présente dans des conditions spéciales. Au lieu d'une surface plane, unie et régulière, c'est une surface sinueuse, irrégulière, qui gode sur le métier et dont il faut se débarrasser à des instants donnés, afin que la trame soit chassée dans la direction voulue. A cet effet, M. Fontaine substitue à l'ensouple cylindrique ordinaire une pièce transversale demi-courbe garnie de pointes à sa courbure;

cette pièce a la faculté de s'approcher et de s'éloigner du battant et du peigne par une espèce de chariot. Il suffit d'approcher la barre à pointes du battant rendu immobile, d'en décrocher l'étoffe, pour que les fils de la chaîne, sollicités par l'action de la tension, se redressent naturellement. Le tissu est fixé de nouveau sur les pointes de la barre ramenée à sa position primitive ; la partie tissée, qui se trouvait précédemment comprise entre l'ouvrier et le peigne, flotte en arrière de la pièce à pointes, et le travail peut être repris après avoir rendu la mobilité au battant.

Les résultats remarquables obtenus par ces diverses combinaisons démontrent que toutes les applications du métier à la Jacquart sont loin d'être épuisées.

Nous donnerions une idée imparfaite des recherches de M. Fontaine, si nous ne vous exposions de quelle manière cet industriel distingué a fait, d'un vêtement qui doit s'harmoniser parfaitement avec les parties du corps, sous peine de devenir gênant et même dangereux, et dont les proportions doivent varier à l'infini, un article de confection courante. Comme l'appréciation de ces recherches est bien plutôt du domaine de l'anatomie et de l'hygiène que de notre compétence, nous pensons ne pouvoir mieux faire que de mettre sous vos yeux un extrait du savant rapport fait sur le même sujet, à l'Académie de médecine, par M. le docteur Bouvier.

« M. Fontaine s'est efforcé, par une étude persévérante, de déterminer les nombreuses variétés de formes et de dimensions du torse de la femme ; il est arrivé à les rattacher toutes à huit types principaux qu'il a représentés dans un tableau annexé à son mémoire, en les désignant, d'après leur caractère spécial et les contrées où ils dominent, depuis ce qu'il nomme les formes naissantes jusqu'aux plus fortes proportions de l'état normal. Il a ensuite établi, dans chaque type, dix-huit modèles de grandeur différente, pris dans la nature comme les types eux-mêmes, et il a fabriqué cent quarante-quatre variétés de corsets sur ces torses reproduits par le moulage. On devine maintenant qu'un individu donné trouvera aisément sa place dans un cadre aussi étendu, et qu'un pareil assortiment de corsets renfermera très-probablement celui qui lui convient. C'est là un point important dans une fabrication en grand destinée surtout à l'exportation, pour laquelle les corsets cousus n'avaient fourni, jusqu'ici, qu'un choix très-incomplet.

« Nous reconnaîtrons, d'ailleurs, que les corsets de M. Fontaine réunissent les conditions les plus propres à prévenir les inconvénients tant de fois reprochés à ce genre de vêtement, et nous avons constaté, sur plusieurs sujets, qu'en raison de leur forme, du petit nombre, du peu d'épaisseur et de la disposition des baleines, ils laissent les organes fort à l'aise, lorsqu'ils sont modérément serrés, et n'apportent aucun trouble dans l'exercice régulier des fonctions.

« Plusieurs praticiens distingués de Lyon se sont assurés, comme nous, des bonnes conditions hygiéniques des corsets de M. Fontaine. M. le docteur Polinière, adversaire déclaré des corsets en général, nous a écrit à ce sujet, que « les applications qu'il a vu faire « de ceux de ce fabricant à des jeunes filles à peine « pubères, à des filles bien formées, à des femmes « d'une forte corpulence, lui ont paru tellement satis- « faisantes, que ces expériences seraient de nature à « le faire réconcilier avec le corset, si son opinion « était susceptible d'être modifiée sur le fond même « de la question. »

Les résultats obtenus par M. Fontaine, au point de vue spécial envisagé par le savant académicien, ne sont donc pas moins remarquables que ceux que nous avons signalés, et auxquels nous devons ajouter le bas prix des corsets nouveaux, établis depuis 5 jusqu'à 12 francs. Ces conditions réunies expliquent le développement rapide de cette branche de la fabrication de M. Fontaine ; elle s'élève déjà, par année, à environ 35,000 corsets, dont une partie se vend à l'étranger, principalement en Angleterre, malgré 15 pour 100 de droits d'entrée.

(*Rapport de* M. ALCAN *à la Société d'encouragement.*)

COTON. Pour faire apprécier l'importance de l'industrie qui a pour objet la production et la mise en œuvre du coton, c'est-à-dire de la fibre végétale qui se prête le mieux au travail mécanique, et fournit parfaite les produits les moins chers et les plus parfaits, nous emprunterons le résumé qui termine l'article COTON du *Dictionnaire du commerce et de la navigation*, que publie M. Guillaumin. Dû à des négociants qui se livrent au commerce du coton, les chiffres qui y sont relatés sont tout à fait dignes de confiance.

ÉTAT DE LA PRODUCTION DU COTON.

ANNÉES.	PROVENANCES.	IMPORTATION EN EUROPE.		PRODUCTION CONNUE.	
		Balles.	Kilogrammes.	Balles.	Kilogrammes.
1858	États-Unis.	2,590,455	468,872,355	3,250,000	588,000,000
1857	Brésil.	207,900	31,400,000	220,000	33,000,000
—	Reste de l'Amérique du Sud. .	40,000	6,000,000	60,000	9,000,000
—	Indes orientales	919,000	135,000,000	919,000	135,000,000
—	Égypte	204,081	22,650,000	250,000	29,450,000
—	Algérie	1,000	150,000	1,200	180,000
—	Sierra-Leone, etc.	300	45,000	300	45,000
—	Europe, Méditerranée	»	»	40,500	6,000,000
—	Indes orientales, exportation en Chine.	40,000	6,000,000	40,000	6,000,000
	Totaux.	4,082,686	679,867,355	4,781,000	806,675,000

Ces chiffres doivent peut-être être doublés si l'on veut tenir compte de la consommation si considérable des étoffes de coton par les populations de l'Asie qui les emploient presque exclusivement, par 150,000,000 Indous, par 450,000,000 Chinois, Siamois, etc., etc.

Laissant de côté ces pays, voici le tableau de la consommation toujours croissante par pays, pour les années 1851 et 1856.

	1851	1856
Angleterre	277,000,000	403,000,000
France	64,000,000	84,000,000
Russie (1849).	»	39,000,000
Autriche	30,000,000	37,000,001
Zollverein	18,000,000	35,000,000
Espagne	10,000,000	»
Portugal	»	21,000,000
Belgique	10,000,000	13,000,000
Hollande	»	16,000,000
Suisse	9,000,000	14,000,000
Italie (Toscane, Naples). .	»	12,000,000
Piémont	»	6,000,000
Suède, Norwége, Danemark.	»	6,000,000
Turquie, Grèce, le reste de l'Europe.	»	10,000,000
États-Unis	110,000,000	139,000,000
	559,0000,00	835,000,000

En 1854, la masse des cotons annuellement fabriqués en Europe et aux États-Unis représentait 485 millions de kilog. de tissus, ayant, selon M. Mimerel, une valeur moyenne de plus de 6 fr. l'un, ce qui faisait plus de 3 milliards de francs. En 1856, 750 millions de kilog. de tissus auraient attaint à 6 fr. 4 milliards 500 millions!

En 1854, M. Mimerel estimait la valeur des matières premières à 800 millions de francs, et à 300 millions le loyer des capitaux. Il restait donc 1,900 millions pour salaires de toute nature. En France, où la production des tissus de coton s'élevait à 630 millions, la part des salaires directs et indirects était, d'après lui, de 378 millions.

En 1856, on ne peut évaluer la valeur des matières premières de toutes sortes à moins de 1 milliard 100 millions de francs. A cette date de l'apogée de l'industrie, la valeur déclarée de la production totale du Royaume-Uni seul était d'environ 1 milliard 600 millions de francs, dont 958,150,000 fr. restés pour les dépenses et bénéfices des manufacturiers. En France, la production de 75 millions de kilog. de fils et tissus représentait une valeur de 728 à 788 millions de francs, dont on doit défalquer d'abord 146 millions, coût du coton.

Il est impossible de supputer la masse totale du capital engagé dans la construction des manufactures, des machines, etc. Le prix de celles consacrées à la filature flotte entre 1 milliard 200 millions et 1 milliard 5 0 millions de francs, le coût moyen des broches étant de 25 à 31 fr. par broche, car il y a actuellement environ 50 millions de broches en activité en Europe et en Amérique. La moitié peut-être de la somme ci-dessus a été employée pour les établissements de tissage. A tout ce capital, on doit ajouter celui engagé dans l'achat, la vente, le transport, etc., de la matière première et des produits manufacturés. Un nombre considérable de navires, quelque chose comme 2 millions de tonneaux, sont employés à importer le coton brut des diverses régions de la terre dans la Grande-Bretagne, et à réexporter les articles manufacturés de ce pays et des autres contrées.

COUDRE (MACHINE A) ET A BRODER. La grande variété de machines à coudre que présentait l'Exposition de 1855, l'étendue des applications qui en ont été faites aux États-Unis d'Amérique, celle bien moindre cependant faite en Angleterre et en France, suffisent pour démontrer l'importance croissante de cette nouvelle branche d'industrie, et nous obligent à en rechercher la nature et l'origine, de manière à pouvoir comparer, avec quelque exactitude, le mérite de ces machines. Elles seront ici divisées en quatre classes, dont la première comprend les machines où l'aiguille est passée complétement au travers de l'étoffe, comme dans la couture à main, et les trois autres, celles où l'aiguille la perce seulement en s'y enfonçant un peu. Les machines de la deuxième classe travaillent avec un fil et produisent le *point de chaînette;* celles des troisième et quatrième classes travaillent avec deux fils et produisent : l'une le point spécialement nommé *point de navette*, et l'autre le *point double de chaînette*.

1re CLASSE. — *Machine à coudre dont l'aiguille passe complétement au travers de l'étoffe.*

Dans les premières applications mécaniques relatives à la fabrication d'objets divers, d'abord effectuées par des outils dirigés à la main et à l'œil, nous rencontrons des tentatives de combinaison d'organes mécaniques servant à imiter le genre d'outils et de mouvements qui y sont spécialement employés. C'est seulement après une longue expérience, que les outils et les procédés reçoivent les modifications propres à leur donner le caractère automatique. Conformément à ce principe, nous trouvons que, dans la première machine à coudre patentée en France par Thomas Stone et James Henderson en 1804, *comme étant appliquée à la confection des habillements* (*Brevets d'invention*, t. VIII. p. 66), une aiguille ordinaire, saisie par des pinces et poussée au travers de l'étoffe, est reçue, tirée par une seconde paire de pinces qui la fait repasser par-dessus le bord de cette étoffe, et ainsi de suite consécutivement en produisant un *point de surjet*. Ce procédé informe, qu'il n'est pas nécessaire de décrire plus au long, semble avoir été abandonné; cependant il a été reproduit sous une autre forme, lorsque M. Sénéchal s'est fait breveter en France en 1819 (*Brevets d'invention*, t. XVI, p. 122, nouvelle collection), pour une machine à *point de surjet* qui a été exposée au Palais de Cristal en 1851, et dans laquelle on se servait encore d'une aiguille ordinaire. Dans le texte de ce brevet, on lit : la *pince qui tient l'aiguille agit absolument comme une main naturelle*. Ajoutons qu'elle travaillait plus lentement. M. Rogers, de New-York, a reçu en Amérique une patente (20 juillet 1844) pour une machine à coudre avec *le point ordinaire*, qu'il appelle une amélioration de la machine brevetée par B.-W. Bean, 14 mars 1843 (*Journal of the Franklin institute*, t. IX, p. 175, et t. XVII, p. 433). Dans ces machines, les bords accouplés des étoffes étaient gaufrés en petits plis successifs, et l'aiguille poussée continuellement à travers ces plis.

M. Greenough, en 1842, s'est fait breveter en Amérique (*Journal of the Franklin institute*, t. XI, p. 400); de même M. Phélizon, en 1850, et M. Canonge, en 1852, ont été brevetés en France, pour des machines à coudre; mais les aiguilles de ces trois constructeurs avaient l'œil au milieu et une pointe à chaque extrémité, comme celles qui avaient été précédemment employées par Heilmann, dans son admirable machine à broder, exposée à Paris en 1834.

La difficulté de travailler mécaniquement avec une aiguille ordinaire est accrue par la nécessité de la retourner après chaque passage au travers de l'étoffe, afin d'en présenter la pointe à sa surface, ainsi que par la diminution continuelle de la distance qu'elle doit parcourir à chaque passée, et par la nécessité de suspendre le travail à courts intervalles, pour renfiler l'aiguille. De ces considérations, il résulte une lenteur, une incertitude de travail et une complication de mécanisme qui ont motivé l'abandon de tous les systèmes ci-dessus.

La machine Heilmann, applicable à la broderie, est restée dans l'industrie. Conduite au pantographe, l'aiguille y est à deux pointes et l'œil au milieu, ce qui en fait éviter le retournement; la lenteur du travail et la complication du mécanisme sont compensées par le nombre des aiguilles simultanément employées. Nous

avons décrit cette ingénieuse machine, qui était exposée, avec quelques modifications, par M. Houldsworth, de Manchester, consistant : 1° dans une grande simplification des pinces à aiguilles ; 2° dans de longues tringles de fer reposant sur les fils et les abaissant par leur poids; à l'approche du chariot vers la fin de sa course, le soulèvement des tringles par la tension des fils avertit la servante de l'arrêter; 3° dans un système de barres en bois parallèles, qui se rapprochent par suite du retour du chariot, de façon à empêcher les fils de s'embrouiller. Cette machine requiert cinq servantes, à savoir : deux occupées à tirer les chariots, une à conduire le pantographe, et deux pour enfiler le fil dans les aiguilles de rechange employées à alimenter la machine.

M. Barbe-Schmitz, à Nancy (France), exposait une nouvelle machine à broder, qui peut broder les dessins à pois, à petites fleurs, etc., sur un tissu quelconque, comme la machine d'Heilmann, dont elle diffère cependant en ce qu'elle est entièrement automatique et requiert seulement pour la servir une seule personne avec un jeune garçon qui alimente les aiguilles. Cette machine, fort compliquée et qu'il nous serait impossible de décrire, est, selon l'exposant, la seconde seulement de celles qui ont été exécutées, et, par ce motif, elle offre quelques parties peu arrêtées, quoique en état de fonctionner avec certains ménagements. Mais les combinaisons en sont fort ingénieuses, et annoncent, de la part de l'inventeur, beaucoup d'habileté dans les moyens mécaniques.

2e CLASSE. — *Machine à coudre avec un fil, produisant en point de chaînette.*

Pour éviter la difficulté du passage complet de l'aiguille au travers de l'étoffe, la seconde idée fut d'imiter un autre point, bien connu des brodeuses sous le nom de *point de chaînette*. La première application de ce principe à la machine à coudre fut brevetée sous les noms de *Thimonnier* et *Ferrand*, en France (17 juillet 1830). On y trouve aussi un brevet d'additions sous les noms de *Thimonnier* et *Magnin* (5 août 1848). L'inventeur la nomme *couso-brodeur*, ou *machine à coudre, à broder et faire des cordons au point de chaînette*. En dessus de l'étoffe se trouve une aiguille à crochet, bien polie, attachée à une barre susceptible d'un mouvement de va-et-vient vertical; en dessous de l'étoffe est une petite pièce capable de tourner concentriquement autour de l'aiguille dans sa position inférieure; le fil de la bobine est passé au travers d'un œil de cette pièce. Lors de la descente de la barre, l'aiguille est poussée au travers de l'étoffe. La pièce inférieure dont il vient d'être parlé, tourne et enroule le fil autour de l'aiguille; cette aiguille s'élève de suite, et, par le moyen de son crochet, entraîne avec elle le fil sous la forme d'une boucle. Le crochet de l'aiguille est de nouveau poussé au travers de cette boucle ou maille, sur un point de l'étoffe, un peu en avant de son premier passage; puis de nouveau retiré en soulevant une seconde boucle qui aussi passe à travers la première. En continuant l'opération, il en résulte une sorte de chaîne, dont chaque maillon traverse le précédent, et qui, par cela même, unit entre elles les deux pièces de l'étoffe. Ce point de chaînette est évidemment beaucoup mieux applicable à la mécanique que celui de la première classe, précédemment décrit; car non-seulement l'aiguille n'est pas obligée de passer complétement au travers de l'étoffe, mais le fil, au lieu d'être d'une longueur limitée, peut être fourni par une bobine d'une grandeur quelconque. Cette machine a servi évidemment de type à toutes les machines à coudre modernes, quoique sa première construction fût trop compliquée pour la pratique usuelle, et, par ce motif, son application ne reçut aucune extension en France. L'ouvrière dirige l'étoffe à la main, dans la direction voulue, comme cela a lieu aujourd'hui, et le brevet indique que la machine peut fonctionner à raison de 200 points par minute, vitesse considérablement dépassée par les machines modernes qui donneraient, dit-on, jusqu'à 800 points dans le même temps.

M. Magnin a apporté diverses simplifications et additions à la machine originale de Thimonnier, et il s'est fait, entre autres, breveter pour un mouvement ingénieux, par lequel le point de broderie peut être exécuté sans tourner l'étoffe sur la table et en lui imprimant seulement une succession de mouvements parallèlement à elle-même, tout en changeant la direction du crochet au moyen d'un mécanisme à pédale. Cette machine fonctionne à raison de 300 points à la minute par une autre pédale à rene. Dans son état actuel, il faut avouer que, comme *couseuse*, elle est trop compliquée pour lutter contre les machines américaines; mais, comme *brodeuse*, elle produit un bon travail. Elle opère avec une grande régularité et précision, et un degré de rapprochement des points, dont la délicatesse permet de l'appliquer aux tissus les plus fins.

Dans l'année 1849, il a été accordé une patente américaine à MM. Charles Morey et J. Johnson, dans laquelle il paraît que l'aiguille à crochet était employée. Mais ce n'est pas la première des machines à coudre américaines, comme nous le verrons ci-après.

M. S.-A. Singer (États-Unis) a été breveté le 27 février 1854, en Amérique et en France, pour une machine à point de chaînette, dans laquelle on a rejeté l'aiguille à crochet pour y substituer l'aiguille à un œil, voisine de la pointe, comme étant plus précise dans son action; elle avait été proposée par M. Hunt, en 1834, pour une couseuse d'un genre différent. Le point est produit en combinant l'action de l'aiguille avec celle d'un crochet marchant horizontalement au-dessous de l'étoffe. La disposition de l'ensemble est faite avec une grande habileté et connaissance pratique du mécanisme en général. Elle doit être considérée comme la meilleure des machines qui ont aujourd'hui réussi à produire le point de chaînette avec une rapidité et une sûreté d'exécution entièrement satisfaisantes pour l'usage ordinaire.

La principale objection qu'on puisse adresser à ce genre de point, est la facilité avec laquelle il peut être défilé en tirant le bout du fil du côté par où finit la chaînette, quand il est cassé par usure ou par accident. Pour éviter cette difficulté, M. Singer a ajouté à sa machine un organe qui forme un nœud à chaque huit points. On y trouve aussi une disposition parfaite pour régulariser la tension du fil, au moyen d'un ressort mû par le porte-aiguille, ainsi que les distances entre les points au moyen d'un petit mécanisme à pied de biche, servant à faire avancer l'étoffe; elle laisse, en même temps, à l'ouvrière la liberté d'en fixer la direction à volonté, en se levant pendant que l'aiguille est engagée dans l'étoffe; en outre, elle offre un pivot pour tourner la pièce, et une vis de rappel permet de donner au point l'étendue voulue. Pour faire de la broderie avec sa machine M. Singer y applique un second fil, disposé de manière qu'il est embrassé par la chaînette et lui donne une grande saillie ressemblant à la soutache. Selon la notice imprimée, l'inventeur de cette machine, qui peut faire de 300 à 500 points à la minute, dirige à New-York un grand atelier de construction dans lequel 150 ouvriers sont employés, et qui a déjà produit plus de 5,000 machines à coudre, et aujourd'hui de 40 à 50 par semaine.

M. Siegl, à Paris (France), présente une autre machine à point de chaînette, qui ne diffère de celle de M. Singer, qu'en ce que le crochet inférieur à va-et-

vient est rotatif autour d'un axe horizontal, pour faciliter son introduction dans la boucle du fil de l'aiguille. (Voir plus loin.)

M. Latour (France) expose une machine très-compliquée pour coudre les doublures des chaussons, dans laquelle on se sert de la machine de Thimonnier, en y ajoutant un mécanisme automoteur pour guider l'ouvrage sous l'aiguille; but que les premiers inventeurs des machines à coudre s'étaient donné beaucoup de mal à atteindre, et que l'expérience postérieure a démontré être plus désavantageux qu'utile; ce dont on a pu s'assurer en comparant la machine de M. Latour avec celles des autres exposants pendant qu'elles fonctionnaient.

3e CLASSE. — *Machines à coudre avec deux fils produisant le point de navette.*

Cette classe de machines à coudre est essentiellement américaine, et il paraît que le point qu'elle produit n'était pas, jusqu'alors, employé dans la couture à main, mais fut inventé dans le but de faciliter l'emploi des organes mécaniques, et pour éviter les inconvénients du déraillement, qui est pour ainsi dire inséparable du *point de chaînette*.

Une aiguille verticale, percée près de la pointe, est alimentée par une bobine; l'aiguille descend, perce l'étoffe et forme, en dessous, une boucle avec le fil; une petite navette placée en bas traverse la boucle avec un second fil par un va-et-vient horizontal; l'aiguille se relève alors, tire avec elle son propre fil, et serre la boucle en même temps que le fil de la navette; ce procédé est répété tout le long de la couture, et de là résulte, à l'endroit de l'étoffe, une série de points imitant le point arrière ou piqûre à la main. En dessus de l'étoffe, si c'est du lin, la couture montre le fil de navette parfaitement droit et retenu à de petits intervalles par les boucles du fil supérieur, qui cependant disparaissent lorsqu'on opère sur une étoffe de laine, où ils se logent dans l'épaisseur. Malgré les objections adressées à ce système, il est évident, par le grand nombre d'exposants de ce genre de machines à coudre, qu'il est, de tous, le plus apprécié et le plus répandu dans la pratique. En effet, les quatre principaux exposants de machines à point de chaînette, MM. Singer, Grover et Baker, Journaux le Blond et Siegl présentent, en outre de leurs constructions respectives, une machine à point de navette.

La première machine de ce genre fut inventée, en 1834, par Walter Hunt, en Amérique; elle est aussi la première des machines à coudre américaines, devancée cependant de quatre années par la machine française de Thimonnier, précédemment décrite. Elle était munie de l'aiguille percée près de la pointe et d'une navette. Mais l'inventeur, n'ayant pas réussi dans ses efforts pour la faire fonctionner d'une manière pratique, ne se fit pas breveter, et le projet resta dans l'oubli jusqu'en 1846, époque à laquelle Élias Howe fut patenté pour une machine ayant les mêmes organes, mais si bien combinés, qu'elle a obtenu un succès prodigieux dans ce pays où la main-d'œuvre est si chère. Elle est la première véritable machine à coudre pour l'usage général, et l'origine de cette nouvelle industrie, qui a reçu un accroissement si extraordinaire dans les États-Unis, et qui commença à se répandre en Europe.

La construction de cette machine a subi des simplifications essentielles et des changements dans les dispositions des parties travaillantes et du mécanisme qui produit les mouvements relatifs; ils ont varié selon le goût des divers cessionnaires du brevet de M. Howe, et des autres personnes qui ont tâché de l'imiter.

Dans ces catégories se trouvent les cinq machines qui suivent :

M. Seymour, à New-York (États-Unis). — Les couseuses inventées en Amérique par James Seymour, et exposées par M. Moore, propriétaire du brevet français, se distinguent par la simplicité du mécanisme et par leur bon marché. Le prix d'une couseuse Seymour est de 350 fr., et c'est pourquoi ces machines jouissent d'une faveur méritée en Amérique aussi bien qu'en France, où il en a été construit un grand nombre. Elles donnent 500 points par minute, en moyenne, et on prétend que chacune se prête également bien à tous les matériaux, tels que drap, cuir, soie, feutre et toile, ainsi qu'à l'ouatage.

M. Thomas, à Londres (Royaume-Uni), a fait l'acquisition de la patente que M. Howe avait obtenue en même temps en Amérique. M. Thomas s'est continuellement occupé du perfectionnement de sa machine, dont il se sert principalement pour la confection des corsets. Le mécanisme diffère de ceux des autres constructeurs de la machine de Howe, en ce qu'on y emploie une disposition très-simple de leviers mis en action par les rainures ondulées d'une roue plate. La construction de la navette est aussi améliorée. Quelques-une de ces perfectionnements ont été dernièrement l'objet de patentes en Angleterre et en France.

M. Siegl, à Paris (France). — Dans toutes les machines de cette classe, lorsque le va-et-vient de la navette a lieu dans une coulisse rectiligne, il est nécessaire qu'elle s'applique avec précision sur le côté de cette coulisse qui avoisine l'aiguille, afin d'éviter que le fil ne s'engage dans leur intervalle. Une patente a été prise, en Amérique, le 29 mars 1853, par M. Thompson, pour l'emploi d'un aimant appliqué au côté extérieur de la coulisse, en vue d'assurer l'adhérence de la navette : une disposition semblable a été brevetée en France, 31 août 1854, en faveur de M. Siegl.

MM. Wheler et Wilson (États-Unis) exposent une élégante machine (patentée en Amérique, 12 novembre 1850), dans laquelle on a substitué à la navette un petit disque plat tournant, au moyen d'une roue à pédale, avec une vitesse constante dans un plan vertical. Ce disque porte, sur la plus grande partie de son contour, un bord saillant arrondi, ayant la forme d'un croissant, dont les cornes émoussées se détachent un peu du disque, afin qu'une d'elles puisse accrocher la boucle du fil que lui présente l'aiguille en descendant. La bobine circulaire et mince ressemble à celles employées dans les métiers à tulle, disposition qui permet d'y mettre cinq ou six fois autant de fil de soie que sur la bobine des navettes à coudre ordinaires. Elle repose, avec un grand jeu, au milieu du croissant, soutenue entre les disques et un petit support fixe, ce qui met la boucle, accrochée par la corne, en état de passer autour de la bobine, comme dans les métiers de Buron et de Pecqueur, à fabriquer les filets de pêche. Cette machine est, en apparence, la plus simple de toutes; mais la plus grande précision qu'elle réclame dans son exécution en a fait élever le prix.

M. Singer (États-Unis) a exposé, avec ses machines à point de chaînette, une machine à navette à laquelle, par des additions relatives à la régularisation de la tension du fil et à l'adoucissement du va-et-vient de la navette par l'emploi d'une bielle, il a apporté une telle perfection que, selon le catalogue américain, elle peut exécuter jusqu'à 800 points à la minute, sans craindre de rompre les fils.

MM. Grover et Baker, à Boston (États-Unis). — La navette n'est pas toujours conduite dans une coulisse rectiligne; ces messieurs, en effet, exposent, en outre de leur machine à point double de chaînette, une autre machine dans laquelle la navette est mue, en va-et-vient, suivant un arc de cercle. Les navettes des trois exposants ci-après sont à rotation continue.

M. Dard, à Troyes (France), présente une machine

importée d'Amérique et brevetée en France en 1850, qui se distingue particulièrement par la rotation continue de la navette dans un cercle horizontal à petit rayon; mais elle est seulement capable de faire des coutures droites, et, à cet effet, elle est pourvue d'un de ces appareils pour la direction automatique de l'étoffe que l'expérience a condamnés. Elle a d'ailleurs été remplacée nouvellement par d'autres machines plus parfaites.

M. Leduc, à Troyes (France), présente une couseuse dans laquelle une navette, ayant la forme d'un croissant, tourne dans un récipient circulaire et horizontal, qui l'embrasse : il y emploie ordinairement deux aiguilles à la fois, et par conséquent trois fils; ce qui, selon lui, produit une couture extrêmement solide. La machine diffère de toute autre en ce que la navette fonctionne en dessus de l'étoffe, et que les aiguilles, par suite, la percent de bas en haut. Bien que la construction et la disposition en soient fort ingénieuses, elle est, à cause de sa complication et de son prix élevé (1,000 francs), peu pratique.

4ᵉ CLASSE. — *Machines à coudre avec deux fils, qui produisent un double point de chaînette.*

L'une des objections que l'on peut adresser aux machines que nous venons de décrire consiste en ce que la navette est limitée dans sa grandeur par la nécessité de traverser la boucle formée par le fil de l'aiguille. Il en résulte que la bobine portée par cette navette ne peut contenir qu'une petite quantité de ce fil, de sorte que la couture est suspendue de temps en temps pour changer de bobine; les meilleurs systèmes de navette permettent néanmoins de travailler pendant deux heures consécutives, mais le point produit par ce genre de machines offre, dit-on, l'inconvénient de s'user vite et de fatiguer le linge.

MM. Grover et Baker (États-Unis), se firent patenter en Amérique (1851) pour une machine à coudre, dans laquelle l'aiguille verticale est employée comme précédemment, sauf qu'au lieu de une navette elle est accompagnée d'une seconde aiguille de forme circulaire, animée d'un va-et-vient rotatif dans un plan horizontal, et portant, au travers de son œil extrême, le fil sortant d'une bobine qui peut être d'une grandeur quelconque, comme celle qui sert à alimenter l'aiguille verticale. Le mouvement relatif de ces deux aiguilles est si compliqué, qu'il serait impossible d'en donner une idée compréhensible sans dessins. Il en résulte un double point de chaînette dans lequel les boucles successives du fil supérieur sont traversées et embrassées par ceux que forme le fil inférieur, de manière à unir solidement les deux pièces de drap. Le point de cette machine n'est pas facile à dérailler, et quoiqu'elle forme un cordon un peu saillant par l'entrelacement des boucles, qui est spécialement fâcheux pour les toiles de lin, cependant elle présente des combinaisons très-ingénieuses. Selon le catalogue officiel des objets exposés dans la section de l'Amérique, il paraît que l'usage de cette machine est très-répandu aux États-Unis, et que la production de MM. Grover et Baker, à New-York, est d'environ 50 machines par semaine.

M. Journaux le Blond, à Paris (France), s'est fait breveter en France, le 29 avril 1854, pour une machine à coudre dans laquelle, au lieu de l'aiguille circulaire ci-dessus, il se sert d'une aiguille qui se meut horizontalement dans un plan où elle subit latéralement un déplacement parallèle à elle-même et d'où il résulte que la ligne suivie par sa pointe est un petit rectangle au milieu duquel se trouve l'aiguille verticale en descendant. Cette machine produit un point qui est identique à celui de MM. Grover et Baker; mais il est déposé sur l'étoffe, sous une forme aplatie, au lieu du cordon en relief précédemment décrit. Ses machines d'ailleurs offrent plusieurs autres dispositions ingénieuses, comme, par exemple, d'employer un morceau de verre translucide pour maintenir et faire avancer l'ouvrage, au lieu de la pièce métallique ordinaire; ce qui permet de surveiller la régularité de la couture, au fur et à mesure de son avancement. On s'y sert aussi d'un cylindre, au lieu d'une table plane, contre lequel s'appliquent certains ouvrages, tels que les manches d'habits, etc. Cette dernière et utile disposition a été mise en usage par M. Howe et d'autres personnes en Amérique, et on peut la voir dans les machines de M. Thomas.

On ne saurait terminer ce rapport sans citer pour mémoire la machine à coudre de M. Avery, qui, quoiqu'elle ne soit pas exposée, fonctionne admirablement à Paris, dans le grand atelier construit par le gouvernement pour la confection des équipements militaires, rue Rochechouart, nº 54, et dont M. Dusautoy, tailleur, est le directeur. Cet atelier, en activité depuis trois mois seulement, contient 1,142 ouvrières et 300 ouvriers. Le drap dont se composent les habillements est découpé avec une rapidité et une précision étonnantes; quatorze pièces superposées sont coupées à la fois par une lame d'acier flexible, de l'invention de M. Dusautoy, montée sur deux grands tambours, à la manière des scies sans fin de MM. Périn et Delaporte, qu'on admire dans l'Annexe. La couture s'effectue au moyen de machines mues à la vapeur, dans toutes les parties qui se prêtent à cette méthode, et ensuite les habillements sont terminés par les procédés ordinaires. Parmi les couseuses de cet établissement, celles d'Avery sont les plus estimées, comme très-simples et faciles à entretenir; on en prépare de nouvelles, et l'on en verra bientôt à peu près 50 en fonction : on y trouve aussi 30 machines de MM. Grover et Baker, et une de M. Seymour.

M. Otis Avery, de Pensylvanie, s'est fait breveter en Amérique, 19 octobre 1852, et puis en France, pour sa couseuse. Le brevet français fut acquis par le ministère de la guerre. La couseuse d'Avery fonctionne avec deux aiguilles dont les yeux sont près de la pointe et qui marchent par va-et-vient, à peu près dans le plan vertical qui contient la ligne de la couture, mais en suivant des directions obliques, l'une au-dessus, l'autre au-dessous, de manière qu'en travaillant elles se croisent entre les deux étoffes. Ces mouvements leur sont communiqués avec une simplicité admirable, par une seule came, servant aussi à diriger la pièce qui avance l'étoffe. Il en résulte un double point de chaînette, qui diffère cependant de celui des autres machines déjà décrites, en ce que la chaînette se trouve entre les deux étoffes, et que la couture, par conséquent, ne présente qu'une piqûre ordinaire à chacun des côtés extérieurs.

(M. WILLIS, *Rapport du Jury de 1855.*)

COURROIES MÉTALLIQUES. *Transmission à de grandes distances à l'aide de ces courroies.* — M. Hirn, habile ingénieur d'Alsace, connu par nombre d'excellents travaux, a réalisé avec un succès complet ce mode de transmission. Nous donnons ici la note qu'il a publiée sur cette heureuse disposition qui peut s'appliquer avec succès dans une foule de circonstances.

« Cette application, qui résout complétement un des problèmes les plus difficiles de la mécanique, remonte à l'année 1850.

« Un ancien bâtiment, très-vaste, de l'établissement de MM. Haussmann, au Logelbach, près Colmar, pouvait être utilisé comme un bel atelier de tissage mécanique, mais la force motrice disponible devait être cherchée à 85 mètres de distance. Les ingénieurs de la maison, conseillés par la routine (et je suis obligé de me mettre de ce nombre), proposaient une transmission par arbres de couche, soit enfouis dans un canal sou-

terrain, soit supportés par des colonnes, afin que le passage restât libre aux voitures. Le moindre devis dépassait 6,000 francs, et l'on ne pouvait compter guère moins de cinq chevaux perdus en frottement. Mon frère vint proposer, à son tour, l'emploi de l'antique courroie, modifiée seulement par la substitution d'un ruban de fer ou d'acier à la lanière de cuir. Au premier moment une telle solution ne manqua pas d'exciter les plaisanteries; cependant, comme la réalisation de ce projet pouvait se faire sans grande dépense et qu'elle simplifiait visiblement la question, on se décida à tenter l'expérience.

MM. Peugeot d'Audincourt nous fournirent des lames d'acier de 0m,06 de largeur, de 0m,001 d'épaisseur et de 40 à 50 mètres de longueur, admirablement exécutées, et qu'il a suffi de réunir par des rivets pour obtenir la longueur voulue de 85m × 2. Deux poulies en bois de 2 mètres de diamètre, à gorge plate et à axes parallèles, reçurent cette courroie d'un genre tout nouveau, qui, dès l'abord, fonctionna d'une manière satisfaisante et pouvait, à la rigueur, être employée. Elle avait cependant deux graves inconvénients. En raison de sa surface et du peu de poids relatif, le moindre vent la poussait en dehors de la direction voulue, et la faisait frotter contre les joues des poulies; il était donc indispensable de la guider à l'aide de galets. — Mais ces galets, quelque bien faits qu'ils fussent, déchiraient quelquefois la courroie aux assemblages rivés, et finissaient eux-mêmes par être coupés ou entaillés. — C'est dans ces circonstances qu'un ingénieur anglais, de nos amis, frappé de l'utilité qu'il y aurait à rendre bien pratique un moyen aussi simple de transmettre la force à distance, nous conseilla d'examiner, à Londres, les câbles que MM. Newall et Cie exécutent pour divers usages, ne doutant pas, nous disait-il, que nous n'eussions lieu d'être satisfaits d'un essai de ce genre. — MM. Newall n'avaient encore employé leurs câbles que pour lever des fardeaux dans les mines, ou comme cordages de navires, etc.; mais il pouvait bien se faire qu'ils satisfissent aux nouvelles exigences auxquelles nous voulions les soumettre : nous n'hésitâmes donc pas à leur commander une corde métallique et à la mettre à l'épreuve.

« Après quelques modifications apportées aux gorges des poulies, après quelques tâtonnements, quelques ennuis même, la corde en fer, substituée à la courroie d'acier, fonctionna et fonctionne encore à notre entière satisfaction. — Elle est en œuvre depuis six ans.

« Voici, en résumé, au double point de vue critique et technique, l'ensemble des observations qu'une longue expérience nous a permis de faire :

« 1° Les poulies conductrices et conduites peuvent toujours être en bois (ébène ou tout autre bois dur). Elles doivent être à gorge profonde et légèrement arrondie. Une profondeur de 4 à 5 centimètres et une largeur de 3 à 4 centimètres sont les conditions que nous avons jugées les meilleures. — Au fond de la gorge se place une courroie en cuir ou en gutta-percha de 1 centimètre d'épaisseur. — Cette courroie n'est point clouée, mais elle est fortement tendue et ramenée, par ses deux bouts, dans un trou pratiqué au fond de la gorge. On fixe les deux bouts à l'aide d'un coin, et, pour plus de solidité, on les consolide par quelques clous. — La corde métallique qui travaillerait sur le bois le couperait en peu de temps. Le cuir, la gutta-percha surtout, durent fort longtemps et ne fatiguent nullement le métal.

« Les poulies, comme on le prévoit, doivent avoir la plus grande vitesse de rotation disponible et un fort diamètre. Nous pensons que le *minimum du diamètre* à employer est 1 mètre.

« Pour garantir les câbles de la rouille, et en même temps pour augmenter leur adhérence contre la circonférence des poulies, on les enduit, une ou deux fois par mois, mais très-légèrement, d'un mélange de goudron et d'huile.

« 2° La *plus courte distance* qu'on puisse admettre entre les deux poulies est environ de 40 à 50 mètres; au-dessous de cette limite, il faudrait substituer une tension artificielle à la tension naturelle et régulière produite par le poids même du câble, et il en résulterait non-seulement des tensions variables, selon l'état de la température, ou suivant d'autres causes, mais encore de fréquents glissements. Enfin le câble, à mesure que sa longueur diminue, court des chances d'usure et de rupture de plus en plus grandes. — En résumé, pour des distances de 20 mètres, par exemple, et au-dessous, il est évident que les arbres de couche sont préférables. — Bien moins encore peut-il être question de substituer les câbles ou les rubans d'acier aux courroies qui servent dans l'intérieur des ateliers.

« 3° Au contraire, et c'est ici que l'emploi des câbles métalliques devient une découverte importante, il n'y a, pour ainsi dire, aucune limite à la longueur des distances qui séparent les poulies conductrices de celles qui reçoivent le mouvement. — Aujourd'hui nous n'hésiterions plus un instant à envoyer une force motrice, même très-considérable, à 3 ou 4 kilomètres, si le cas se présentait, et nous serions sûr, à l'avance, de la réussite. Après le succès obtenu avec notre premier câble, nous fîmes, en 1855, une application déjà beaucoup plus hardie que la première, sous tous les rapports. — Une force 38 chevaux, ou 38 × 75 = 2,850 kilogrammètres, fut utilisée, à l'aide d'une de ces nouvelles transmissions, à 240 *mètres de distance*, pour mener un atelier de tissage et toutes ses dépendances. Cette transmission, la seule possible pour une telle longueur, remplace aujourd'hui un moteur hydraulique, dont l'installation n'avait pas coûté moins de 40,000 francs. L'utilité des câbles, sur cette échelle, ne peut être aisément évaluée à l'avance. Il suffit, par exemple, de faire remarquer que le long des cours d'eau, principalement dans les vallées, et dans mille cas analogues, il peut être avantageux de n'être pas contraint de réunir en quelque sorte, dans le même local, le moteur et les machines à mettre en mouvement. — La nouvelle transmission se prête merveilleusement à toutes les exigences, et c'est ainsi qu'en Suisse, dans le canton de Glaris, la maison Egly Wagner a transmis une force motrice assez considérable, du fond d'un vallon, à un bâtiment (ancien couvent) situé sur une élévation voisine, et disposé pour un tissage mécanique. — Quelques accessoires, néanmoins, sont nécessaires, selon les localités ou selon les distances à franchir ; je vais en dire quelques mots.

« 4° La flèche de l'arc que forme la corde, et la tension croissant avec la longueur, il arrive un moment où l'on peut être obligé d'élever les poulies outre mesure, pour éviter que le milieu du câble ne touche au sol ; en même temps l'effort sur les collets des arbres peut devenir trop considérable. Il faut donc soutenir le câble de 100 en 100 mètres environ, à l'aide de poulies intermédiaires ; or ce sont ces poulies qui ont exigé le plus de tâtonnements. — Elles doivent avoir au moins 1 mètre de diamètre et être construites le plus légèrement possible (couronne en bois dur, rayons en fer cylindrique forgé de 0m,015 d'épaisseur, axe en fer, avec croisillon en fonte, le tout parfaitement centré). La gorge doit être semblable à celle des poulies motrices; mais garnie au fond d'une lanière *en caoutchouc vulcanisé*, au lieu de cuir ou de gutta-percha.

« D'après diverses applications qui ont déjà été faites suivant mes conseils, ces poulies intermédiaires, convenablement inclinées, peuvent avantageusement servir à changer la direction du câble et à établir des rapports de mouvement entre des arbres non parallèles;

autrement dit, ces poulies peuvent servir à faire décrire à la transmission un vrai polygone, soit en projection horizontale, soit en projection verticale.

« 5° Un reproche, ou du moins une objection que l'on serait tenté de faire à ce mode de transmission, et qui pourrait même en retarder l'application, consiste dans la perte de force que l'on supposerait causée par le frottement des axes des poulies contre leurs collets, par suite de la grande traction du câble; mais cette objection tombe devant le calcul qui vient prouver que cette perte est peu sensible, et qu'on peut la considérer comme nulle lorsqu'on la met en regard de celle qui résulte de l'emploi des arbres de couche. — En effet, si, à l'aide des données expérimentales et numériques que nous avons pu recueillir jusqu'ici, nous venons à comparer la force réellement consommée par notre câble de 240 mètres, et celle que consommerait une transmission ordinaire par arbres de couche, nous acquérons promptement la certitude que la première de ces forces est à la seconde comme 1 : 15.

« Pour une longueur de 80 mètres, mesurée horizontalement à partir de la poulie motrice, la flèche de la courbe de notre câble est, à l'état de repos, de $0^m,85$. Le câble pesant 1 kilog. pour $2^m,73$ de longueur, on trouve, à l'aide de l'équation de la chaînette, que la tension est de 331 kilog. environ au point d'enroulement sur la poulie conductrice. Cette tension, étant la même pour les deux brins, exerce une pression de 662 kilog. sur les collets de l'arbre moteur. On sait que la somme des tensions des deux brins d'une courroie est la même à l'état de mouvement qu'à l'état de repos; la tension du brin conduit diminue autant que celle du brin conducteur augmente. La force transmise étant de $38 \times 75 = 2,850$ kilogrammèt. et la vitesse de $13^m,5$ environ, on a $\frac{2,850}{13,5} = 211$ kilog. pour l'effort dû au travail. La tension du brin conducteur est donc de 542 kil., et celle du brin conduit 120 kilog. Le collet sur lequel s'exerce la pression totale de 662 kilog. a $0^m,07$ de diamètre : avec 92 tours par minute, la vitesse à la circonférence est donc de $0^m,33$ par seconde. En admettant que le frottement soit de 1/10 de la pression (ce qui, d'après mes recherches sur le frottement, est le chiffre le plus défavorable possible), on a $\frac{662}{10} \times 0^m,33 = 21^{km},8$ pour le travail en kilogrammètres, absorbé par les collets. Cette valeur est à doubler, puisque le même travail est consommé par les frottements de la poulie conduite (soit $43^{km},6$).

« Pour construire une transmission équivalente avec un arbre de couche, il faudrait donner à celui-ci $0^m,1$ de diamètre. Sur 240 mètres on a donc un poids de 13,000 kilog. La vitesse à la circonférence est ici de $\frac{92 \times 0,1 \times 3,1416}{60} = 0^m,48$ par seconde. En admettant aussi 1/10 de 13,000 kilog. pour la valeur du frottement, on a donc $0,48 \times 13,00 = 644$ kilogrammètres pour la force consommée, au lieu de $43^k,6$ que nous avons pour notre câble. — Il serait facile de prouver que ce rapport $\frac{644}{43,6}$ est un minimum dans la pratique.

« Remarquons, en passant, que le prix d'un tel arbre, à lui seul, serait d'environ 26,000 francs, y compris les supports, les coussinets, la pose, etc.; tandis qu'un câble, avec ses deux grandes poulies et ses deux petites poulies de support, n'atteindra jamais la 1/10 de cette somme.

« Encore faut-il remarquer que le parallèle que je viens d'établir entre les deux systèmes donnerait de bien autres résultats si l'on augmentait considérablement les distances; car il arriverait un moment où l'arbre de couche, en raison de sa trop grande longueur, ne serait plus même assez fort pour se mouvoir, *lui seul*, sans se rompre, tandis que le câble soutenu, de distance en distance, par des poulies de support, pourrait être conduit indéfiniment loin, sans que le frottement devînt un obstacle sérieux à son emploi. — En effet, du moment où, en raison de la distance, on est obligé de recourir aux poulies-supports, ce ne sont plus *qu'elles seules* qui peuvent absorber de la force; or, à simple vue, on se convaincra que les axes de ces poulies et leurs collets qui sont d'un diamètre très-réduit, et qui d'ailleurs n'ont pas une charge bien grande à supporter, ne peuvent consommer qu'un travail relativement insignifiant.

« Cette merveilleuse faculté *de franchir l'espace sans perte notable de force* n'appartient donc qu'aux transmissions par câbles métalliques. — Basée sur le principe élémentaire de mécanique, en vertu duquel on arrive aux grandes quantités de travail, avec de petites forces et de grandes vitesses, et *vice versâ*, et sur l'expérience pratique de l'inaltérabilité du métal plié et replié sans cesse sur des arcs de grand rayon, cette solution du problème fournira un nombre infini d'applications nouvelles. Son extrême facilité d'exécution, le peu de dépense qu'elle entraîne vulgariseront rapidement une découverte qui, nous devons la faire remarquer, n'est protégée par aucun brevet, et sur les applications de laquelle nous avons toujours libéralement donné tous les renseignements pour lesquels on a eu recours à nous. »

AD. HIRN.

D

DÉCORATION CÉRAMIQUE. La décoration des poteries prise dans son ensemble constitue maintenant un art à part, quelquefois réuni comme accessoire nécessaire à la production elle-même, quelquefois distinct et formant en quelque sorte une seconde industrie. Nous présenterons dans cet article une étude sérieuse et complète des moyens variés, ingénieux, logiques, à l'aide desquels on peut décorer les poteries. Nous pourrons offrir ainsi d'une manière synoptique l'esquisse d'une science qui possède, comme tous les corps de doctrine, ses lois, ses règles et ses méthodes.

Le sentiment de la couleur est tellement inné chez l'homme, que toutes les industries, même à leur naissance, ont produit des objets à l'élégance, à la richesse, à la valeur desquels le producteur ajoutait une ornementation souvent originale par l'application de principes colorés. A défaut même de substances colorées spéciales, on trouvait, dans la forme et dans le relief de certaines parties, le moyen de faire naître, par des décompositions ou des réflexions de la lumière blanche, des clairs et des obscurs qui équivalaient en quelque sorte à de la peinture; et s'il est une industrie qui, sous le rapport de la décoration, mérite l'attention,

c'est assurément l'art de fabriquer les poteries, à cause des conditions toutes particulières auxquelles la décoration céramique doit satisfaire. Il est vrai de dire que les poteries, comme toutes les autres matières, peuvent recevoir toute espèce de couleurs fixées par les mordants quels qu'ils soient, comme les vernis, les huiles, les gommes, la chaux, etc. Mais nous ajouterons ici que nous ne considérons, dans ce chapitre réservé par nous à la poterie, comme peinture et décorations céramiques, que celles qui sont fixées sur la poterie par l'intermédiaire du feu ; c'est dire que nous ne nous occuperons que de celles qu'on obtient au moyen des couleurs connues sous le nom de couleurs vitrifiables, et qu'il serait préférable de dénommer *couleurs vitrifiées*.

Le caractère principal et caractéristique des décorations céramiques, caractère qui résulte de la condition essentielle de l'application de la chaleur pour les fixer, est une certaine résistance, une certaine inaltérabilité. Cette même condition limite le nombre de celles de ces substances qui peuvent être employées avantageusement.

A titre général, ces matières doivent être inaltérables sous l'influence de la chaleur, adhérer fortement à la poterie, résister par conséquent aux agents atmosphériques, à l'eau, etc. Les autres qualités que doivent présenter les matières propres à la décoration des poteries dépendent :

1° De la nature de la poterie ;

2° De la position de la matière sur l'objet à décorer ;

3° De l'effet que le fabricant attend de l'emploi de la matière en question.

C'est ainsi, par exemple, que pour les décorations qu'il faut introduire dans les pâtes des diverses poteries, on ne doit s'inquiéter ni de la dureté, ni de la dilatabilité de la matière colorante, il suffit de tenir compte du prix auquel la matière colorante peut être obtenue, de la facilité de sa préparation, de la fusibilité qui lui est propre ou qu'elle peut acquérir par son mélange avec les autres éléments des pâtes ; enfin de l'altération plus ou moins prompte et considérable qu'elle doit subir de la part de l'atmosphère particulière du four dans lequel la poterie est cuite.

C'est ainsi qu'il faut savoir estimer si la glaçure de la poterie pourra réagir ou non sur la matière décorative, lorsque la couleur est appliquée sur cette glaçure.

C'est ainsi qu'il faut encore ne demander aucune fusibilité propre à la matière décorative, lorsqu'elle doit être placée sur la pâte et sous glaçure.

Mais la matière décorative devra posséder par elle-même une fusibilité suffisante, lorsqu'on la destine à la peinture d'objets tels que les porcelaines composées dures ou tendres ; elle sera plus considérable dans un cas que dans l'autre.

Cette fusibilité qui conduit à l'éclat vitreux serait nuisible lorsqu'on veut produire l'aspect des métaux précieux, qui n'ont de valeur qu'autant qu'ils conservent leur éclat métallique.

Enfin, quelques genres de peintures offrent un cachet d'originalité par l'absence de tout aspect vitreux.

Nous avons donc à distinguer, suivant l'objet qu'on fabrique :

1° Les oxydes métalliques ;	4° Les couleurs ;
2° Les engobes ;	5° Les métaux ;
3° Les émaux ;	6° Les lustres métalliques.

Oxydes métalliques. — En général, ces matières employées à la décoration des poteries sont empruntées au règne minéral ; elles ont plus particulièrement comme destination la décoration des pâtes par la répartition uniforme des matières colorantes au sein de la masse elle-même : ce sont des oxydes tantôt purs, tantôt engagés dans des combinaisons salines ou formées préalablement, ou qui prennent naissance aux dépens des éléments constitutifs des pâtes ou des glaçures. Dans le premier cas, on obtient les poteries simples comme les poteries à pâte rouge, brune, jaunâtre ; elles sont colorées par des oxydes de fer naturellement déposés dans les argiles qui fournissent aux pâtes l'élément plastique ou mêlés au sable qui forme l'élément antiplastique. Les pâtes de grès colorées en vert ou vert d'eau, qui reçoivent cette coloration de leur mélange avec l'oxyde de chrome, sont encore dans le même cas ; l'oxyde de chrome est l'élément colorant. Mais lorsque ces mêmes grès sont colorés en bleu par l'oxyde de cobalt, ce n'est plus l'oxyde de cobalt pur qui est la cause de la coloration, c'est le silicate de protoxyde de cobalt qui colore. On peut l'introduire directement sous cette forme, comme il est permis aussi de le mêler à l'état d'oxyde ou de carbonate. Le silicate de la pâte forme, à la température de la cuisson, du silicate de cobalt.

Engobes. — L'emploi des engobes est plus particulièrement réservé pour la décoration des poteries dont la pâte est naturellement colorée ; tantôt les engobes sont naturels, c'est-à-dire qu'ils sont formés de matières terreuses contenant un mélange intime et naturel d'oxydes colorants et n'ayant subi d'autre préparation mécanique qu'un délayage pour extraire les parties sableuses étrangères ; les ocres sont dans ce cas ; tantôt, au contraire, les engobes se préparent artificiellement, en ajoutant à des terres incolores ou peu colorées des oxydes préparés artificiellement eux-mêmes au moyen de procédés chimiques plus ou moins parfaits.

On donne par extension le nom d'engobe aux pâtes blanches qu'on applique sur des poteries naturellement colorées, pour en masquer entièrement la couleur sale ou pour économiser la quantité d'étain contenue dans la glaçure des faïences communes, en faisant disparaître, par parties seulement, quelquefois en totalité, la coloration de la terre sous une couche légère d'un engobe incolore.

Les engobes peuvent recevoir la glaçure ou rester sans glaçure. La poterie présente alors l'aspect brillant. On peut évidemment décorer par l'application de plusieurs engobes placés simultanément sur une même pièce.

Émaux. — Les émaux diffèrent des engobes en ce qu'ils possèdent une apparence vitreuse qui peut même atteindre la limpidité complète. Ces matières colorantes se rapprocheraient évidemment des oxydes et des sels que nous avons distingués en premier ordre, si leur usage n'était pas précis et nettement déterminé.

Nous appellerons émaux les matières vitreuses, c'est-à-dire les silicates, borosilicates ou phosphosilicates généralement multiples, colorés par des oxydes *maintenus en dissolution* dans le flux vitreux.

La limpidité de ces émaux varie naturellement avec la nature du flux vitreux et la température plus ou moins élevée qu'ils doivent subir pour leur cuisson. Nous trouverons des différences considérables sous ce rapport.

Les émaux ombrants de Rubelles cuisent à de basses températures ; les fonds par immersion de porcelaine dure, le céladon des Chinois cuisent, au contraire, à des températures très-élevées. Dans ces derniers émaux, la transparence n'est pas toujours complète. Les émaux appliqués à la décoration des poteries se posent quelquefois sur le biscuit, comme les émaux de Rubelles, quelquefois sur la poterie composée, comme les fonds turquoise ou rose sur la porcelaine tendre.

Ils cuisent alors à des températures peu différentes

de celles auxquelles on doit cuire le vernis de la poterie composée ; dans d'autres circonstances, les émaux s'appliquent sur la poterie composée, se cuisent à des températures de beaucoup inférieures à celles nécessaires pour fondre la glaçure, et par conséquent incapables de ramollir cette glaçure. C'est le cas de la plupart des couleurs employées en Chine à la décoration des porcelaines peintes et dorées.

Couleurs. — Les couleurs diffèrent des émaux en ce qu'elles sont composées d'un mélange de flux vitreux et de principe colorant. Le flux vitreux a généralement pour double but de faire adhérer la couleur sur la poterie peinte, et de remplir, après la cuisson, l'office du vernis dans la peinture à l'huile, c'est-à-dire d'aviver la couleur appliquée sur la poterie.

Dans certains cas cependant, on n'ajoute, avec intention, qu'une faible quantité de flux vitreux, seulement ce qu'il en faut pour faire adhérer la peinture sur la pièce décorée ; c'est lorsqu'on veut obtenir des peintures mates.

Les couleurs s'appliquent généralement sur les poteries composées ; cependant on en fait quelquefois l'application sur les poteries simples, principalement dans le cas des peintures mates. Elles cuisent à des températures variables avec la nature des poteries qu'on décore. Nous verrons plus loin qu'il faut alors les composer en conséquence.

Métaux. — On a tiré, dans la décoration des poteries, le parti le plus avantageux de la richesse et de l'inaltérabilité des métaux précieux ; l'or, le platine et l'argent, placés isolément et quelquefois alliés, donnent des décorations variées et d'un très-bel effet : il est évident que les qualités particulières de ces matières ne peuvent être les mêmes que celles qu'on exige des substances que nous venons d'étudier.

Il n'est nullement nécessaire que les métaux prennent l'apparence vitreuse, mais il est indispensable qu'ils réunissent un grand éclat, dans les circonstances atmosphériques ordinaires, à la plus grande inaltérabilité. On en fait usage tantôt à l'état mat, tantôt à l'état brillant ; pour les obtenir dans ces dernières conditions, on les frotte avec un corps dur, l'agate ou la sanguine employées sous forme de brunissoirs. Mais ils sont alors toujours, sous une certaine épaisseur, appliqués sous forme de poussière ou de poudre insoluble préparée par des moyens chimiques ou mécaniques.

Quelquefois, lorsqu'on veut décorer avec économie ou bien obtenir des effets particuliers d'irisation ou de dichroïsme, on n'applique ces métaux que sous une épaisseur très-faible, et ce résultat est obtenu facilement pour quelques-uns, plus difficilement pour d'autres ; il paraît plus avantageux dans ce cas de n'opérer qu'avec des dissolutions huileuses de ces mêmes métaux. Cette considération intéressante sur laquelle nous aurons à revenir un peu plus loin, motive, du reste, la distinction admise entre les métaux et les lustres.

Lustres. — Nous réservons, en effet, le nom de lustres aux métaux appliqués sur les glaçures sous une assez faible épaisseur pour recevoir directement du feu le brillant que les métaux employés sous une épaisseur plus considérable ne tiennent que de l'action du brunissoir ; les lustres ne sont pas nécessairement transparents. Les lustres de platine ne le sont aucunement.

Nous entrerons maintenant dans quelques détails sur chacune de ces matières employées à la décoration des poteries. Nous donnerons avec plus d'étendue que nous n'avons pu le faire, en considérant ces substances dans leur ensemble, les qualités que chaque groupe doit posséder, les défauts auxquels il est sujet, et nous terminerons par quelques exemples de dosages usités dans la pratique relative à chacun des genres de poteries que le commerce présente. Nous insisterons surtout sur les différents modes de préparation et d'emploi de ces matières. Nous compléterons ainsi l'article POTERIES que contient la deuxième édition de ce Dictionnaire.

OXYDES MÉTALLIQUES.

Nous avons déjà dit quel est le but des oxydes dans la décoration ; nous avons vu que ce but est de colorer les pâtes ou de permettre sous la glaçure l'application de dessins colorés, qui puissent prendre, après la cuisson des glaçures elles-mêmes, l'aspect d'une peinture en couleurs vitrifiées, c'est-à-dire inaltérabilité complète et brillant uniforme.

Ces oxydes et les quelques sels qu'on peut employer concurremment, doivent présenter certaines qualités qui les rendent d'un emploi général. Leur prix sera la première condition, car, destinés à faire partie de la masse, il faut qu'ils soient avant tout d'un prix abordable.

Lorsque la terre elle-même ne contient pas l'oxyde colorant, naturellement déposé dans la masse de la formation argileuse ou sableuse, on l'introduit après l'avoir fabriqué de toutes pièces, et le prix de cet oxyde doit augmenter alors notablement le prix de la pâte.

Lorsque la poterie qu'on veut décorer reçoit cette décoration sous couverte et qu'elle peut acquérir par elle-même une grande valeur, ou bien encore lorsque l'oxyde colorant possède une grande puissance tinctoriale, on peut négliger, en partie du moins, l'importance du prix de revient de la matière colorante.

Les oxydes, ainsi que nous le savons, sont des combinaisons d'oxygène avec différents métaux. Quelques-uns éprouvent, de la part des corps réducteurs, des modifications dont il faut savoir tenir compte, car la réduction des oxydes peut modifier la couleur dont on espère le développement. Quelques nuances, au contraire, n'apparaissent qu'avec une influence réductrice. On peut donc recourir aux oxydes d'un même métal pour créer des colorations variées, mais à la condition de les cuire dans des atmosphères différentes ; c'est avec des précautions semblables que l'oxyde de chrome, ajouté dans la proportion de 0,005 à la pâte de porcelaine, donne du vert jaunâtre dans un courant d'air, et du vert bleu dans une atmosphère enfumée. C'est ainsi que l'oxyde d'urane donne, sous une faible proportion, des pâtes jaunes dans une atmosphère oxydante ou des pâtes brunes et même rougeâtres dans une atmosphère réductrice.

Les oxydes employés jusqu'à ce jour pour colorer les pâtes sont :

1° Les oxydes de fer, qui donnent, suivant la température de la cuisson, du jaune, du rouge, du brun ;

2° Les oxydes de manganèse, qui donnent du violet ou du brun ;

3° Les oxydes de chrome, qui donnent du vert jaune ou du vert bleu ;

4° Les oxydes de cobalt, qui donnent du bleu ;

5° Les oxydes d'urane, qui donnent du jaune ou du brun ;

6° Les oxydes d'or, qui donnent du rose ou du gris violacé ;

7° Les oxydes de platine, qui donnent du gris ;

8° Les oxydes d'iridium, qui donnent du gris ou du noir.

Les oxydes de fer, souvent intimement mêlés aux argiles, sont la cause de la coloration des principales poteries de terre ou de grès : on faisait disparaître dans les faïences l'inconvénient de cette coloration par l'application d'une glaçure opaque. Nous ferons remarquer que, dans les faïences fines, une partie de l'oxyde de fer visible sur la surface des pièces disparaît en se dissolvant dans la glaçure boracique en contact avec cette surface.

Les oxydes de manganèse n'entrent qu'en très-faible proportion dans les pâtes, et c'est en mélange

accidentel avec l'oxyde de fer qu'on les rencontre; ils ajoutent ordinairement à la teinte brunâtre que ces poteries tiennent de ce dernier oxyde. On pourrait profiter de la couleur violette qu'ils communiquent aux frittes alcalines pour colorer en rose les pâtes de porcelaine tendre.

Les oxydes de chrome sont mêlés aux pâtes de porcelaine tendre, de porcelaine dure et de grès fins pour colorer les biscuits en vert plus ou moins intense, suivant la proportion qu'on en ajoute. Ici nous devons faire remarquer que l'oxyde de chrome est insoluble dans les silicates alumineux, et qu'il enlève de la transparence même aux terres qui sont les plus translucides. Les porcelaines perdent par son addition leur caractère distinctif pour prendre les qualités des grès cérames.

Les oxydes de cobalt ajoutés à des pâtes naturellement ferrugineuses les colorent en brun; l'oxyde de chrome et l'oxyde de fer forment de même des fers chromés qui colorent en brun rougeâtre; mais si la pâte est incolore, l'oxyde de cobalt ne donne qu'une couleur bleue plus ou moins intense, suivant la quantité d'oxyde qu'on ajoute. Les grès du vieux Wedgwood, colorés en bleu et rehaussés de charmantes compositions en pâte blanche, sont obtenus de cette manière.

On a fait encore en Angleterre des poteries de la nature des porcelaines tendres, colorées par de l'oxyde de cobalt, dans lesquelles on maintient la couleur du bleu d'outremer, en corrigeant la teinte violacée propre au silicate de cobalt au moyen d'une addition d'oxyde de zinc; il est indispensable, dans ce cas, de faire fritter préalablement le mélange de feldspath, d'oxyde de cobalt et d'oxyde de zinc qui donne la couleur outremer. Une condition indispensable à remplir pour réussir ces couleurs, qui s'adapteraient également bien à la décoration des porcelaines artificielles françaises, est une atmosphère oxydante, tant à cause de la nécessité de maintenir l'oxyde de zinc à l'état d'oxyde pour éviter sa volatilisation, que pour s'opposer à la réduction de l'oxyde de cobalt, qui ne donne, à l'état de métal, que du gris ou du noir.

L'oxyde de cobalt vaut aujourd'hui de 47 à 50 francs le kilogramme.

Le prix de l'oxyde d'urane s'oppose à ce qu'on en fasse usage pour les poteries autres que celles qui, comme les porcelaines et les grès fins, ont par elles-mêmes une valeur assez considérable. Il est encore aujourd'hui de 57 fr. 50 le kilogramme. Lorsqu'on mélange à de la pâte de porcelaine blanche 2 pour 100 d'oxyde d'urane, on obtient, si l'on cuit dans un courant d'air, une pâte qui prend une coloration jaune clair assez agréable; la même pâte, cuite dans le charbon ou dans une atmosphère enfumée, comme celle des fours marchant à la houille, donne une pâte brune.

Cette dernière coloration s'obtient facilement lorsqu'on augmente la dose d'urane, même dans une atmosphère à courant d'air, parce qu'il n'y a pas assez d'alcalis pour maintenir l'oxyde d'urane à l'état d'acide uranique. Les pâtes brunes passent au rougeâtre quand l'oxyde est en forte proportion et qu'on les cuit dans le charbon; mais on les obtient avec une grande économie lorsqu'on fait usage de pechblende choisie au lieu d'oxyde d'urane préparé par les moyens chimiques. On peut, en augmentant la dose d'oxyde d'urane, préparer des pâtes complétement noires.

Un inconvénient assez grave de l'emploi de l'oxyde d'urane préparé par précipitation est la solubilité de ce sel dans l'eau. La coloration de la pâte varie à chaque instant; de plus, il est difficile de s'opposer à sa diffusion par capillarité dans toute la masse. On ne peut donc, lorsqu'on le conserve humide, l'appliquer comme engobage: car il teinte les parties blanches voisines de celles sur lesquelles on l'a posé.

J'ai fait quelques essais pour colorer par l'or les pâtes blanches de porcelaines dures et tendres. On arrive à des colorations variées en faisant usage du chlorure d'or. Le précipité pourpre de Cassius conduit de même à des résultats pratiques; mais il faut, par une dessiccation préalable, lui faire perdre son état gélatineux qui modifie la plasticité de la pâte à laquelle on le mêle, et lui donne une certaine tendance à se fendre à la dessiccation.

On parvient, au moyen de l'addition de 0,005 ou 0,010 d'or à l'état de pourpre de Cassius, à colorer la pâte en rose agréable. Il faut moins de métal pour obtenir une même teinte avec les pâtes tendres; car elles cuisent à des températures notablement inférieures. Il convient de cuire dans une atmosphère oxydante, par exemple au milieu d'un courant d'air, afin d'éviter le ton violâtre sale qui peut provenir de la réduction de l'oxyde stannique résultant de la décomposition du pourpre sous l'influence de la chaleur.

Les hauts prix du platine et sa forte densité s'opposent à son emploi général dans les arts céramiques, surtout pour colorer les pâtes. Cependant il fournit avec les pâtes de porcelaine dures et tendres des gris fins et agréables, qu'on obtient facilement en arrosant de chlorure de platine le sable qui doit entrer dans la pâte. On fait fritter, puis on broie de nouveau. On évite, par ce tour de main bien simple, la séparation de la poudre de platine du sein du liquide qui maintient la pâte à l'état de barbotine, surtout lorsqu'on veut façonner les pièces au moyen du procédé de coulage.

La même observation s'applique évidemment aux oxydes d'iridium, et la même marche détournée pour l'incorporer aux pâtes peut être employée souvent avec avantage. C'est cette même voie qu'il faudrait adopter toutes les fois qu'on aurait à tirer parti de substances minérales brutes, telles que les wolfram, les pechblendes, le rutile, etc., dont la densité se trouve être très-considérable.

Nous avons dit que les oxydes s'employaient principalement dans les pâtes à l'état de mélange. Cependant ceux dont la valeur est importante se posent sur la pâte elle-même, tantôt crue, tantôt cuite; on les emploie quelquefois à l'état de pureté, surtout lorsqu'ils peuvent se fixer avec la pâte au moment de la cuisson particulière qui précède le feu de vernis; on les applique encore en mélange avec une petite quantité de flux vitreux pour agglutiner la couleur et la rendre adhérente avec les surfaces sur lesquelles elles sont apposées; l'immersion dans l'eau chargée de glaçure ne les déplace pas. Il résulte de ces deux différentes positions des modes divers d'emploi des oxydes.

Lorsque les oxydes sont incorporés dans la pâte, s'ils sont, comme les oxydes de fer, de manganèse, etc., naturellement mêlés aux éléments qui composent ces pâtes, on opère un broyage et le mélange convenable dans les appareils employés à la préparation des pâtes, et ces opérations se font avec un soin directement en rapport avec la nature du produit qu'on établit.

Si ces oxydes ne sont pas mêlés aux matériaux qui composent les pâtes, on les prépare à part; on les amène, par un broyage très-soigné, s'exerçant soit sur les oxydes purs, soit sur les oxydes frittés ou fondus avec un des éléments antiplastiques, à l'état de poussière impalpable qu'on ajoute alors aux autres éléments dans des tournants ou cuvelles appropriées.

Dans les fabriques qui font des colorations très-variées, il convient, comme on l'a fait en Angleterre, dans les fabriques de grès fins, d'avoir un nombre suffisant de moulins, pour affecter toujours le même au broyage d'une couleur donnée. On ajoute dans ce moulin la partie incolore par portions successives, en

broyant toujours pour obtenir un mélange intime, jusqu'à ce que la pâte soit composée. On évite ainsi des taches qui résultent du broyage imparfait; et, pour mieux atteindre cette homogénéité complète, il est bon de décanter la matière avant son introduction dans les tournants. Les pâtes colorées, raffermies et pétries, sont façonnées par les mêmes procédés que ceux qu'on applique au façonnage des pâtes blanches ou communes naturellement colorées et pour l'étude desquels je renvoie le lecteur à mes *Leçons de Céramique* professées à l'École centrale des arts et manufactures.

Ce mode de coloration est surtout en vigueur, d'une part, en Angleterre, pour faire les grès fins colorés de Wedgwood, d'autre part, à Sèvres, pour faire des pâtes de couleur, entre autres les pâtes céladon; on y a fait aussi quelques essais de pâte tendre colorée par des additions de frittes cuivreuses, ou chargée d'or et d'oxyde de chrome. Il est évident que cette méthode ne peut convenir pour obtenir les décorations résultant de linéaments ou de figures appliquées par places sur des poteries, en général pour les décors différents de ceux qui résultent de la coloration de la pâte.

J'ai fait quelques essais pour obtenir, par voie en quelque sorte de teinture, les oxydes à l'intérieur des pâtes; toutes les fois qu'on peut, au moyen d'un acide volatil, amener à l'état soluble les matières colorantes, on plonge l'objet façonné dans une eau chargée de sel colorant, on laisse sécher, puis on dégourdit de nouveau; le sel se décompose, l'acide volatil se dégage, et l'oxyde reste disséminé. Il n'y a d'autre inconvénient à redouter qu'une inégale répartition du sel dans l'intérieur de la pâte et son accumulation sur ceux des points qui sont exposés à l'évaporation spontanée; les sels viennent s'y réunir en plus grande abondance.

Ces mêmes phénomènes de teinture réussissent assez bien sur la pâte à l'état de mollesse et plastique, lorsqu'on opère la dissolution de l'oxyde dans un acide faible comme l'acide acétique.

La décomposition du sel se fait spontanément; elle peut être activée d'ailleurs par l'addition de quantités convenables de carbonates alcalins ou d'ammoniaque, lorsque l'ammoniaque ne jouit pas de la propriété de redissoudre l'oxyde précipité. Il est évident encore qu'on peut faire agir ces réactifs pour opérer par voie de double décomposition sur la poterie dégourdie complétement imbibée de la dissolution saline qui doit introduire l'oxyde colorant.

Lorsque la peinture se fait sur poterie et sous glaçure, les oxydes ou matières colorantes sont appliqués soit sur la poterie cuite, soit sur la poterie crue; et par des feux convenables comme intensité, l'adhérence de la couleur et son brillant se développent avec l'addition d'un fondant ou de la glaçure. Les dessins peuvent être placés sur la pâte crue avant toute espèce de cuisson, même celle qui a pour but de consolider assez la pièce pour faciliter la mise en couverte; on délaye alors avec de l'eau la couleur composée d'une manière convenable: comme on ne fait de la sorte que des dessins grossiers, il importe peu que ces couleurs aient à l'emploi le ton qu'elles auront après la cuisson.

La couleur et la poterie cuisent au même feu; elles prennent assez d'adhérence pour que la mise en glaçure n'exige pas de précautions particulières.

Les dessins peuvent être faits avec les oxydes appliqués sur la poterie déjà cuite, soit à l'état de dégourdi, soit à l'état de biscuit, si la poterie doit recevoir une glaçure qui n'exige pas pour cuire une température égale à celle que doit recevoir le corps de pâte. L'application des oxydes, dans le premier cas, sur une surface poreuse et absorbante, conduit à des précautions particulières sur l'emploi desquelles nous insisterons plus loin au sujet des peintures sous couverte sur la porcelaine de Sèvres.

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Lorsque la pâte est cuite et qu'elle a perdu toute porosité, la coloration, soit par fonds de couleurs, soit par linéaments, devient bien plus facile. On broie l'oxyde à l'essence, comme nous le dirons plus loin, pour l'appliquer suivant les contours qu'on veut obtenir. Il est cependant préférable de broyer à l'eau la matière colorante.

Il faut remarquer ici que l'oxyde doit être mêlé d'une certaine quantité de flux vitreux pour rendre adhérant à la pâte l'oxyde qui, s'il restait pulvérulent, se détremperait après qu'on a brûlé les essences, lorsqu'on vient à poser le vernis soit par arrosement, soit par immersion. La préparation des oxydes et le choix qu'on en doit faire sont liés d'une manière intime avec la température à laquelle on cuit la poterie ou sa glaçure. Il est certain que les oxydes qui se dissolvent dans les glaçures en se décolorant ne peuvent être choisis, et qu'il ne faut pas perdre de vue la nature de la poterie qu'on veut décorer.

L'antimoniate de plomb, par exemple, ne laisserait aucune trace sur les porcelaines cuites au grand feu; l'oxyde de cobalt, au contraire, permettra de décorer toute espèce de poterie, puisqu'il résiste à l'action de toute espèce de matière vitreuse, même aux températures les plus élevées que les arts industriels puissent produire. Dans ce genre de décoration, il donne cependant des dessins d'autant plus nets qu'ils sont cuits à des feux moins violents.

La coloration appliquée, comme nous venons de le dire, tant sur les pâtes dégourdies que sur les pâtes cuites à l'état de biscuit, se fait généralement à la main; mais elle peut se faire aussi par les méthodes rapides de l'impression. Ce procédé, qui déjà vers 1751 donnait des résultats acceptables dans la manufacture de Worcester, reçut en France, depuis 1806, des perfectionnements très-considérables.

On l'applique exclusivement en Angleterre pour la décoration des faïences fines sous couverte, et cette méthode s'est étendue chez nous depuis longtemps à la décoration des poteries similaires qui se font sur une très-grande échelle à Creil, Sarreguemines, Bordeaux, Montereau. Sur une planche en acier, en cuivre, en laiton, on dessine, soit par gravure au burin, soit à l'eau-forte, un sujet qu'on transporte sur une feuille de papier. L'épreuve faite avec une couleur grasse abandonne le papier lorsqu'on met celui-ci par l'envers en contact avec un liquide aqueux. En comprimant avec une roulette l'épreuve et la pièce à décorer, le dessin reste sur la pâte; on brûle l'essence dans le moufle avant de mettre en vernis. Le moufle se compose ordinairement d'un étui en terre, quelquefois en fonte (nous rappelons ici que nous avons fait connaître la disposition d'un moufle dans le genre allemand dans la deuxième édition de cet ouvrage); il est placé sur un foyer au-dessus d'un cendrier; la grille est à barreaux plus ou moins espacés suivant la hauteur du moufle. Une cheminée donne issue aux produits qui résultent de la combustion des essences; une voûte percée d'ouvertures divise la flamme et régularise le tirage. Ce moufle est porté par des arceaux au nombre de trois ou quatre et placé sur une plaque de couche qui protége le fond. On cuit rapidement en laissant l'air pénétrer dans le moufle par une douille réservée dans la porte. On mure, avant de cuire, l'espace qui donne libre accès lors de l'emmouflement.

Nous pouvons nous borner à dire que c'est par cette même méthode qu'on applique les dessins bleus, bruns, noirs et roses qui décorent toutes les faïences fines et tous les cailloutages.

Nous ne saurions indiquer ici les principes de préparation des divers oxydes qui concourent à donner ces nuances. Nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux sur cette matière; nous nous bornerons à faire

connaître les procédés au moyen desquels on prépare le pinck-colour des Anglais, composé singulier dans lequel la coloration rouge ou rose a pour principe le chrome oxydé, et qui fournit sous glaçure un rose assez agréable. Nous indiquerons aussi la méthode qu'on suit à Sèvres pour peindre en bleu sous couverte.

Le pinck-colour est insoluble, infusible; soumis à l'analyse par M. Malaguti, pendant son séjour à Sèvres, il a été décomposé de la manière suivante :

Acide stannique	78,31
Chaux	14,91
Silice	3,96
Alumine	0,95
Eau	0,61
Oxyde de chrome	0,52
Chromate de potasse	0,26
Potasse et perte	0,42
	100,00

On reproduit cette matière en fondant :

Acide stannique	100
Craie	34
Chromate de potasse	3 à 4
Silice	5
Alumine	1

On fait un mélange intime qu'on chauffe au rouge clair pendant quelques heures; la masse est d'un rose sale; elle vient d'un ton agréable lorsqu'on la lave, après porphirisation, avec de l'eau chargée d'un peu d'acide chlorhydrique. On doit à M. Malaguti l'analyse et la synthèse de cette couleur, dont l'application réussirait certainement sur porcelaine tendre; elle conduit à des résultats véritablement pratiques sur les cailloutages anglais.

Un grand nombre de pièces de porcelaine de la Chine ont un caractère d'originalité très-grande qu'elles doivent au mode d'ornements bleus sous émail dont elles sont chargées. On a tout récemment appliqué sur la porcelaine de Sèvres ce genre de décoration, et la dernière Exposition, à Paris, des manufactures nationales, celles des mêmes établissements à Hyde-Park, à Londres, en 1851, ont offert des pièces remarquables d'un effet tout nouveau et d'une grande harmonie.

La peinture en bleu sous couverte est faite à la Chine sur pâte non crue avec un oxyde de manganèse impur cobaltifère. On ne peut conserver aucun doute à cet égard, ni d'après la lettre du père Ly, ni d'après les échantillons qui l'accompagnaient, ni d'après les essais et l'examen chimique que nous avons faits, M. Ebelmen et moi, du thsing-hoa-liao. Quant à l'état dans lequel se trouve la pâte au moment de la décoration, il est évident que la porcelaine est crue, puisqu'on retrouve l'ornementation, filets et ornements, sous des collages opérés avec la barbotine (anses et becs de théières, etc.). A Sèvres, les peintures de ce genre exécutées jusqu'à ce jour l'ont été sur la porcelaine dégourdie, c'est-à-dire poreuse et absorbante. Pour obvier à la porosité, pour en détruire les effets, on applique au pinceau, sur la partie qu'on veut décorer, une couche mince de vernis et l'on fait sécher.

Il faut que le vernis soit très-mince pour que sa destruction par le feu n'entraîne pas le levage de la peinture, soit avant, soit pendant la mise en couverte. On peint sur cette couche de vernis avec assez de facilité pour faire les peintures les plus délicates et les plus soignées. On se sert comme matière colorante bleue d'un mélange à parties égales d'oxyde de cobalt anglais et de sable quartzeux. On le broie finement sur une glace pour l'employer comme les autres couleurs. Quand la peinture est finie, on la laisse sécher, puis on la passe au moufle pour détruire le vernis qui empêcherait la couverte de prendre également sur toute la pièce. Nous avons fait connaître en quelques mots l'espèce de fourneau dans lequel se fait cette calcination. La pièce doit être cuite dans le four au grand feu, bien encastée dans de bonnes cazettes avec toutes les porcelaines à cuire. Dans ces conditions particulières, la peinture, qui était noire entre les mains de l'artiste, sort du four d'un bleu très-agréable, uniformément glacé.

Comparés aux bleus de même sorte appliqués sur les porcelaines de la Chine, nos bleus sont plus pâles et moins nets, plus nuageux. On peut attribuer cet effet tant à la cuisson moins développée qu'exige pour être cuite la porcelaine de la Chine qu'à la nature particulière de la matière cobaltifère; cette combinaison du minerai de cobalt, dans laquelle est engagé l'oxyde, se nomme en Chine thsing-hoa-liao.

Des spécimens intéressants de la fabrication de M. Haidinger d'Elbogen, exposés à Londres en 1851, ont démontré qu'il était possible de tirer un parti très-avantageux de la décoration en bleu sous couverte et d'obtenir des effets plus nouveaux. Le Musée céramique de Sèvres a fait l'acquisition de plusieurs pièces de cette fabrique, bien réussies, présentant des dessins bleus, avivés çà et là par de la dorure et des couleurs de moufle.

Des faïences en très-grand nombre, d'origine ancienne, persane ou arabe, sont décorées sous couverte par des méthodes analogues qui consistent à déposer sous la glaçure des traits ou des aplats colorés au moyen d'oxydes de cobalt, de cuivre, de chrome ou de fer chromé, du jaune d'antimoine, etc.: par la fusion de la glaçure, ces oxydes se fondent et donnent à la pièce une certaine harmonie qui peut être parfaitement imitée. Il suffit d'ajouter aux oxydes ou sels en question, préparés à l'état de pureté par les méthodes connues des chimistes, leur poids ou la moitié de leur poids d'un fondant contenant :

Borax	50
Sable	100
Minium	200

Nous terminerons les détails relatifs aux oxydes par quelques dosages propres à la fabrication de plusieurs des poteries colorées dans la masse que le commerce offre au consommateur. Sans vouloir entrer dans le détail des fabrications grossières qui se préparent avec des terres naturellement colorées, nous indiquerons quelques compositions propres à la décoration :

1° Des grès;
2° Des porcelaines tendres;
3° Des porcelaines dures.

Grès. — On colore la pâte des grès en bleu, en vert, en gris, en noir avec les dosages qui suivent :

Grès bleu vif	0,050 oxyde de cobalt.
Grès bleu pâle	0,005 oxyde de cobalt.
Grès vert foncé	0,010 oxyde de chrome.
Grès vert pâle	0,005 oxyde de chrome.
Grès vert bleuâtre	0,003 oxyde de cobalt. 0,003 oxyde de chrome.
Grès noir	0,060 oxyde de manganèse. 0,060 oxyde de fer.

Pâtes de porcelaine tendre française. — La porcelaine tendre peut être colorée par divers oxydes en bleu, en vert, etc.

1° Pâte turquoise. Cette pâte doit cuire au feu d'oxydation. On fait fritter :

Protoxyde de cuivre	5
Carbonate de soude	18
Sable blanc	77

On prend ensuite :

Fritte bleue turquoise	60
Fritte blanche	15
Marne lavée	10
Craie	15
	100

2° Pâte d'un vert clair :

Pâte blanche	95
Chromate de baryte	5
	100

3° Pâte bleue :

Fritte blanche	70
Marne	17
Craie	8
Oxyde de cobalt	5
	100

4° Pâte violette. On fait fritter :

Carbonate de manganèse	5
Carbonate de soude	15
Azotate de potasse	5
Sable blanc	75
	100

On ajoute à la fritte :

Fritte	76
Marne lavée	12
Craie	12
	100

Porcelaine dure. — Nous indiquerons encore quelques dosages de pâtes de porcelaine dure; on rapporte le poids des oxydes à 100 parties de pâte blanche :

Pâte bleu foncé	2g,500	oxyde de cobalt.
Pâte bleu pâle (atmosphère oxydante)	0g,050	oxyde de cobalt.
Pâte vert céladon (feu réducteur)	0g,100	oxyde de chrome.
	0g,003	oxyde de cobalt.
Pâte bronze foncé (atmosphère oxydante)	0g,500	oxyde de nickel.
Pâte vert-olive (atmosphère oxydante)	1g,000	oxyde de nickel.
	0g,200	oxyde de cobalt.
Pâte brune	0g,150	oxyde de fer rouge.
Pâte jaune (atmosphère oxydante)	0g,200	oxyde d'urane.
Pâte brun noir (feu réducteur)	1g,550	chromate de fer.
	1g,550	oxyde de cobalt.
	1g,550	oxyde de manganèse.
	1g,520	oxyde d'urane.
Pâte rose (feu quelconque)	1g,100	or à l'état de pourpre.

Il est indispensable, dans la confection de ces pâtes, de tenir compte de l'augmentation de fusibilité que communiquent certains de ces oxydes aux compositions normales; il faut obvier à ces inconvénients par l'addition d'une plus grande proportion de l'élément plastique; si la pâte est d'un prix élevé, l'addition de l'alumine calcinée devient possible et très-utile.

ENGOBES.

Nous avons fait connaître, en commençant cet article, la nature et le but des engobes; il eût été plus simple peut-être de ne pas établir de distinction entre ces matières et les pâtes de couleur que nous avons étudiées plus haut. Cependant j'ai cru qu'il devait être fait une distinction importante entre ces deux sortes de matières colorantes, à cause des méthodes différentes au moyen desquelles on les applique sur les poteries; d'ailleurs, considérés au point de vue chimique, les engobes doivent satisfaire à des conditions nouvelles, qu'on ne doit pas exiger des pâtes simplement colorées dans toute la masse.

La pâte de couleur, en effet, donnera toujours de bons résultats, pourvu qu'elle ait été façonnée, avec tout le soin possible, par l'une des méthodes que nous avons indiquées, et qu'elle soit cuite dans des conditions, je ne dis pas seulement de soins et de précautions sur lesquels il convient d'insister, mais dans une atmosphère de composition déterminée. Il faut de plus, pour que des engobes réussissent, qu'ils aient tous une composition telle, qu'appliqués sur la même pièce, ils cuisent au même feu, présentent la même fusibilité, la même dilatabilité, et prennent avec la pâte une adhérence convenable; ils doivent, en outre, jouir des mêmes propriétés relativement à la glaçure, lorsqu'il s'agit de faire une poterie composée.

Il est inutile de répéter qu'au point de vue de la résistance aux agents extérieurs, à l'influence de l'atmosphère du four, à celle de la glaçure, ils doivent se comporter comme les pâtes colorées, par lesquelles nous avons commencé l'étude des méthodes propres à la décoration des poteries.

La position des engobes est très-généralement la même que celle des oxydes. On les applique presque toujours sur la pâte pour les recouvrir de glaçure. Cependant les poteries italo-grecques nous donnent un exemple remarquable d'engobes blancs ou rouges appliqués comme rehauts sur des lustres noirs. Le lustre en fondant a déterminé l'adhérence de la matière terreuse, et la terre se détachant en mat forme un contraste agréable qui, certainement, ajoute à l'intérêt que présente cette fabrication, très-avancée d'ailleurs pour l'époque à laquelle elle a pris naissance.

Les procédés au moyen desquels on applique les engobes sur les poteries peuvent être très-différents. On les applique tantôt sur la pièce crue, tantôt sur la pièce cuite en dégourdi. Quelquefois l'engobe extérieur est placé le premier, tantôt, au contraire, on ne le place qu'en dernier lieu. Lorsqu'on fait usage du procédé de moulage pour apposer les engobes qui décorent une pièce de forme donnée, que le moulage ait lieu sur pâte molle ou sur pâte liquide, on commence par placer l'engobe dans le moule, sur les parties qui doivent recevoir par cet engobe une couleur différente de celle du fond; on remplit ensuite le moule, soit de pâte molle, qu'on applique par le moulage à la balle ou à la croûte, même encore à la housse, soit au moyen de barbotine, si l'on opère par coulage. Les pièces ébauchées de la sorte sont mises en glaçure par l'un quelconque des procédés qu'on emploie dans la fabrication des poteries.

Lorsque la pièce est ébauchée, l'engobe peut se mettre, comme dans le cas d'une véritable glaçure, par l'un de ces mêmes procédés. Il n'y a d'autre précaution à observer que celle de régler convenablement l'épaisseur de l'engobe, toutefois en supposant la couleur bien composée.

Lorsqu'on opère par arrosement sur poterie crue, comme on le fait en Suisse, pour l'établissement de ces sortes de pâtes faïencées, qui ont encore, dans certaines localités, un très-grand succès, les barbotines sont placées dans une espèce de réservoir dont la forme rappellerait celle d'une théière aplatie. Une ouverture permet d'introduire la matière; une anse sert à prendre le vase pour déverser le liquide. Le bec est terminé par un tuyau d'un orifice très-petit, qui permet de tracer avec les barbotines colorées des linéaments irréguliers qui se parfondent sous la glaçure, en présentant des sortes d'arborisations très-singulières. Lorsqu'on croit avoir mis l'engobe sous une épaisseur trop considérable, on enlève l'excédant en tournassant les

pièces; ce tournassage s'exécute ordinairement sur le tour en l'air.

On trouve dans les engobes la possibilité d'obtenir des colorations brillantes et d'un aspect varié; mais ceux dont on peut faire usage sur une poterie donnée sont d'autant moins nombreux que l'on cuit à des températures beaucoup plus élevées, lorsqu'on applique l'engobe sur la cru; ils sont encore d'autant moins nombreux que la glaçure est plus réfractaire lorsque la poterie composée doit subir deux feux distincts : l'un pour la pâte, l'autre pour la glaçure; dans ce cas, il vaut mieux réserver l'engobe pour le cuire avec la glaçure, sur la pâte préalablement cuite en grand feu.

ÉMAUX.

Posons ici, comme principe, que nous nommons *émail* toute matière vitreuse, transparente ou non, colorée par des oxydes maintenus à l'état de dissolution. On donne généralement dans l'industrie le nom d'émail à toute matière vitreuse qui perd sa transparence par l'addition d'une certaine quantité d'oxyde d'étain, d'antimoine ou d'acide arsénique. Mais comme on a donné ce nom même aux peintures transparentes exécutées sur plaques métalliques émaillées, même aux couleurs transparentes qui servent à peindre sur paillons, etc., nous conservons à ce mot sa plus grande généralité. Je proposerai toutefois de distinguer les émaux en *opémaux*, c'est-à-dire émaux opaques, et *transémaux*, c'est-à-dire émaux transparents. Je suppose que ces deux dénominations seront facilement acceptées.

Les opémaux dériveront toujours des transémaux par l'addition simple et facile d'opémail incolore. On voit que l'emploi de l'émail comme matière colorante applicable à la décoration des poteries se confond avec celui des glaçures colorées opaques ou transparentes, et que beaucoup des conditions que l'on exige pour les glaçures ordinaires sont encore nécessaires. C'est ainsi que les glaçures colorées doivent être fusibles à des températures déterminées, assez dures pour résister aux frottements ou moins dans les conditions d'usage auxquelles elles seront soumises, assez inaltérables par l'air et l'eau pour ne pas perdre promptement l'éclat qu'elles tiennent de leur nature vitrifiable.

La fusibilité des émaux opaques ou transparents appliqués comme glaçures sur les diverses poteries est nécessairement variable; la glaçure, dans ce cas, doit cuire à des températures qui diffèrent nécessairement avec la nature de la poterie elle-même, soit qu'on fasse une poterie exigeant une seule cuisson, soit qu'on établisse un produit nécessitant dans cuissons successives. Nous ferons remarquer ici que l'on peut à volonté préparer la glaçure en faisant fondre simultanément la glaçure incolore ou les éléments qui la composent avec les matières colorantes, ou simplement en mélangeant ces dernières aux glaçures ordinaires; ce procédé s'emploie surtout pour les poteries qui cuisent à des températures élevées. La dissolution de l'oxyde dans le flux vitreux s'opère ou même temps que la vitrification de la glaçure; il ne peut y avoir d'autre obstacle à l'emploi de cette méthode que celui qui résulterait de l'usage d'oxydes d'une densité très-considérable. Cette difficulté serait d'ailleurs à peu près nulle, lors même qu'on aurait des oxydes très-denses, si l'on appliquait la glaçure au pinceau ou par saupondration au moyen d'un tamis convenablement choisi. Nous comprendrons immédiatement qu'il est d'autant plus facile d'avoir des émaux variés, qu'on cuira la poterie composée à des températures plus basses. Aussi, si les faïences et les porcelaines tendres présentent des colorations assez nombreuses, remarque-t-on que les porcelaines dures ne peuvent présenter, en ce genre, que des décorations très-limitées.

Nous distinguerons :

1° Des émaux fusibles pour fonds;
2° Des émaux durs pour fonds;
3° Des émaux fusibles pour peindre.

A. La température de fusion des émaux est très-variable; elle est faible dans les émaux qu'on applique sur le biscuit, parce qu'ils contiennent de l'oxyde de plomb en très-forte proportion. Le cristal devient la base des émaux colorés dont on enduit le biscuit, pour lui donner le brillant et le glacé que les porcelaines ordinaires tiennent de leur couverte; on le mélange à cet effet pour le colorer, par une fusion préalable, avec des oxydes variés dont le nombre est très-réduit, et qui sont à peu près ceux dont le verrier fait usage pour faire les cristaux colorés dans la masse.

Le vert est fourni par l'oxyde de cuivre; l'oxyde de manganèse seul donne du violet; en mélange avec de l'oxyde de fer, il colore en brun; l'oxyde de cobalt est la base du bleu; l'antimoine à l'état d'antimoniate de potasse communique au vert, par l'oxyde de cuivre, une nuance jaunâtre douée d'une opacité souvent nécessaire; enfin les vigneurs et les noirs sont obtenus au moyen de l'oxyde de manganèse sans mélange, tantôt placé directement sur le biscuit pour être recouvert par les émaux, soit brun, soit vert, soit bleu; tantôt mis en mélange avec ces mêmes émaux, suivant le ton qu'on désire obtenir. Ce mélange est fait sans le secours de la balance, à simple vue, sur la palette, avec une assurance remarquable.

Les émaux sont broyés à l'eau, puis appliqués à l'essence de térébenthine maigre, sous une forte épaisseur; il faut cependant éviter de mettre une couche trop épaisse qui noircirait et détruirait les détails de la sculpture. Les couleurs sont couchées à plat; elles offrent néanmoins des ombres et des clairs, les ombres étant données par l'épaisseur de la couche qui se réunit dans les parties déclives; elles agissent dès lors à la manière des émaux ombrants.

On cuit les pièces décorées, quand elles ont été séchées, dans les moufles communément employés pour cuire la porcelaine peinte, sans autre précaution que celle de bien isoler les pièces les unes des autres et de les faire porter par le plus petit nombre de points de contact. On établit divers étages de planchers au moyen de barres de fer coupées de longueurs convenables.

Le feu nécessaire pour cuire ces émaux est à peu près celui des peintures en premier feu d'ébauche. Évaluée en degrés centigrades, la température correspondante est comprise entre 850 et 900 degrés.

Les produits de cette fabrication, qui rappellent les *Rustiques de Palissy*, ne pourraient être d'un emploi convenable dans les usages journaliers; on réserve ce genre de décoration pour des pièces d'étagères, de dressoirs, etc., c'est-à-dire pour des objets plutôt d'ornementation et d'art que pour des vases propres à la consommation ménagère. Dans cette dernière destination, ces glaçures ne sauraient être que très-inférieures à la couverte résistante et dure de la porcelaine même la plus commune.

J'ai donné (voyez ACIDE BORIQUE) la composition d'un vernis incolore pouvant servir à mettre en glaçure les porcelaines dures cuites en biscuit ou les poteries de faïence fine cuite presque en grès. J'ai dit que ce fondant pouvait être coloré par quelques oxydes. Voici la série de tons que comprend mon service de la manufacture de Sèvres (émaux Bernard Palissy pour terre cuite) :

N° 1. Fondant.
N° 2. Blanc opaque.
N° 3. Gris.
N° 4. Noir.
N° 5. Bleu clair.
N° 6. Bleu foncé.
N° 7. Vert bleu.
N° 8. Vert foncé.
N° 9. Vert jaune.
N° 10. Jaune.
N° 11. Ivoire.
N° 12. Brun jaune (ocre).
N° 13. Brun violâtre.
N° 14. Brun foncé.
N° 15. Rose isabelle.
N° 16. Violet.

Je donne ici les recettes encore inédites à l'aide desquelles on peut préparer ces divers émaux colorés. Je suivrai l'ordre et la nomenclature adoptés jusqu'à ce jour.

Fondant (n° 1). On mélange et on fond :

Sable	1000
Minium	2000
Borate de chaux	500

Ce dernier élément doit être choisi, sans oxyde de fer et sans terre ; il provient de l'épluchage des nodules naturels.

Blanc opaque (n° 2).

Fondant n° 1	150
Blanc d'émail de Gmeston	700
Fondant aux gris (p. 140)	150

On triture sans fondre.

Gris.	Gris (n° 3).	Noir (n° 4).
Sable	1000	1000
Minium	2000	2000
Borate de chaux	500	500
Oxyde de cobalt	2	60
Oxyde de cuivre noir	12	100
Oxyde de fer rouge	12	120
Carbonate de manganèse	24	120

Bleus.	Clair (n° 5).	Foncé (n° 6).
Sable	1000	1000
Minium	2000	2000
Borate de chaux	500	500
Oxyde de cobalt noir	40	125

Verts.	Bleu (n° 7).	Foncé (n° 8).	Jaune (n° 9).
Sable	1000	1000	1000
Minium	2000	2000	2000
Borate de chaux	500	500	500
Oxyde de cuivre	125	500	50
Chrom. de potasse	•	•	12

Jaunes.	Jaune (n° 10).	Ivoire (n° 11).	Ocre (n° 12).
Sable	1000	1000	1000
Minium	2000	2000	2000
Borate de chaux	500	500	500
Chrom. de potasse	25	•	•
Antimoine diaphorétique	•	35	•
Oxyde de fer hydraté	•	70	200
Fleurs de zinc	•	35	•

Bruns.	Violâtre (n° 13).	Foncé (n° 14).
Sable	1000	1000
Minium	2000	2000
Borate de chaux	500	500
Oxyde de fer rouge	250	250
Carbonate de manganèse	125	125
Oxyde de cobalt	•	60

Rose isabelle	(n° 15).	(15 a).	(15 b).
Fondant incolore	1000	1000	1000
Cristal rubis p^r l'or	100	200	300

Violet.	Clair (n° 16).	(16 a).	(16 b).
Sable	1000	1000	1000
Minium	2000	2000	2000
Borate de chaux	500	500	500
Carbonate de manganèse	125	125	125
Oxyde de cobalt	•	3	6

On fond et l'on coule ces divers mélanges, sauf le blanc opaque et les roses isabelles. On les pile et on les applique sans intermédiaire sur le biscuit de porcelaine ; employés sur porcelaine dure, ces émaux doivent être mis à un seul feu sous une faible épaisseur ; sous une épaisseur exagérée, ils se fendillent et font l'effet du craquelé des Chinois. On ne peut les retoucher qu'en appliquant la retouche à l'eau ; l'essence qui pénètre dans les fentes ne peut s'y brûler complétement ; elle abandonne du charbon qui macule la surface du vernis. Lorsqu'on applique une couche incolore sur le biscuit, il est indispensable encore de chauffer le moufle avec lenteur pour donner à tout le charbon provenant de l'essence le temps de se brûler ; sans cette précaution, le vernis, surtout dans les épaisseurs, est teinté d'une coloration rose dont la cause m'est encore inconnue.

Sur terre cuite, ces émaux se conduisent sans tressailler, et peuvent être appliqués comme toute autre glaçure. Ils peuvent concourir à la fabrication des émaux ombrants.

L'émail ombrant n'est qu'une modification de l'invention nommée lithophanie, due à M. Bourgoing. M. du Tremblay, autrefois propriétaire de la fabrique de Rubelles, près Melun (Seine-et-Marne), en a tiré le parti le plus avantageux en créant une fabrication nouvelle qui n'a malheureusement pas obtenu tout le succès auquel elle devait être appelée. L'effet produit par l'émail ombrant est complétement indépendant de la nature de la pâte qui reçoit l'émail, et il est indépendant encore de la composition de l'émail lui-même ; une seule condition théorique est à remplir : il faut que l'émail qui s'étend sur la base, à reliefs plus ou moins saillants, soit légèrement coloré dans sa masse ; on peut donc obtenir ce genre de décoration sur toute espèce de poterie. Si les effets que ce mode d'ornementation peut présenter n'ont été, dans ces derniers temps, appliqués d'une façon spéciale qu'à la faïence, il n'en est pas moins vrai que d'autres fabrications en ont offert des exemples, et, pour n'en citer qu'une, je rappellerai que plusieurs pièces de porcelaine de la Chine, recouvertes d'un fond céladon, offrent des dessins très-variés ; ils sont obtenus simplement en remplissant d'une couverte légèrement colorée des cavités réservées avec intention.

M. Trélat, professeur au Conservatoire des arts et métiers, directeur, en 1843, de la fabrique de Rubelles, a fait connaître dans une note insérée dans le *Bulletin* de la Société d'encouragement, 42e année, page 469, les principales difficultés que présente l'application de l'émail ombrant à la faïence ordinaire. La plus grave est la tressaillure qui résulte de la grande épaisseur du vernis accumulé dans les cavités. Les autres défectuosités que peut présenter l'émail ombrant, quelle que soit la matière de la pâte, quelle que soit la nature de la glaçure (vernis ou couverte), sont les gouttes de gondolement, le manque d'horizontalité pendant la cuisson et la réduction au four des oxydes colorants.

Les gouttes de gondolement, qui altèrent la pureté des dessins en déplaçant les lumières et les ombres, résultent d'un gauchissement de la pâte pendant la dessiccation. On les évite par une exposition convenablement ménagée dans des séchoirs bien disposés. Lorsque les reliefs du biscuit déterminent entre eux des creux qui ne sont pas trop larges, le niveau d'émail s'établit

très-difficilement pendant la cuisson, à cause de la capillarité qui tend à faire remonter le corps en fusion aux parties les plus élevées du dessin. Les remèdes à ces défauts doivent être apportés dans les modèles plutôt que dans les moyens d'exécution. On évite, avec de l'adresse et du soin, le désordre que produirait le manque d'horizontalité dans la fuur. Enfin, lorsque le four est établi dans de bonnes conditions, la réduction des oxydes colorants n'a lieu que dans des circonstances exceptionnelles. La pureté du feu devient l'une des premières causes du succès de cette fabrication.

B. Occupons-nous actuellement des émaux durs pour feuds. Il convient de rapporter à ces sortes de composés un grand nombre de couleurs de grand feu, et nous ne serons pas embarrassés de choisir nos exemples; nous citerons seulement les couleurs de Chine et le bleu de Sèvres.

Rouge flammé de Chine. — C'est ici le lieu de faire connaître le résultat de quelques expériences que j'ai faites à Sèvres pour reproduire le rouge au grand feu des Chinois. L'analyse m'avait donné, pour deux échantillons de rouge, l'un uni, l'autre flammé rouge et bleu, les compositions suivantes :

	Uni (goutte bleue).	Flammé (bleu et rouge).
Silice	73,90	69,04
Alumine	6,00	4,00
Oxyde de fer	2,10	3,04
Chaux	7,30	12,00
Magnésie	traces	traces
Oxyde de cuivre	4,60	0,24
Oxyde de cobalt	0,00	4,50
Oxyde de plomb	traces	0,70
Oxyde de manganèse	traces	2,00
Potasse	3,00	0,60
Soude	3,40	9,40
	100,00	

Les émaux rouges et bleus analysés ont été soumis à quelques essais. La couverte bleue a conservé sa coloration au chalumeau dans la flamme oxydante comme dans la flamme réductive.

Pour l'émail rouge,

1° Un fragment de vase à couverte rouge a subi la température du grand feu des fours de Sèvres. L'émail rouge a présenté diverses altérations en rapport avec sa composition; il a coulé; il s'est réuni dans les parties déclives en gouttes tressaillées; il a perdu sa couleur rouge, totalement à la surface, qui est devenue légèrement verdâtre et opaline, en partie seulement dans l'épaisseur qui est restée çà et là rosée dans tous les points que l'épaisseur de la couche avait préservés de l'oxydation pendant la cuisson.

La pâte, qui était parfaitement blanche, a pris dans toute la surface exposée pendant la cuisson à l'influence de l'atmosphère du four, une teinte brunâtre très-prononcée due au fer qu'elle contient. Les parties intérieures, mises à nu par une nouvelle cassure, avaient conservé leur blancheur primitive.

2° Un fragment du même vase a été cuit au moufle et porté au rouge; après le démouflement, il avait encore toute sa coloration. Les arêtes s'étaient conservées bien vives; il n'y avait pas eu de ramollissement au feu de peinture.

3° L'essai fut répété sur le même tesson, mais cuit à la température de l'or mat. Cette température fut suffisante alors pour ramollir un peu l'émail, émousser les bords de la cassure, mais insuffisante toutefois, pour faire adhérer à la couverte le sable dans lequel le fragment avait été placé pendant la cuisson. La porcelaine dure de Sèvres, dans les mêmes conditions, ne subit aucune modification, aucun ramollissement.

On doit donc admettre, d'après l'analyse et les essais qui précèdent, que la coloration de l'émail en rouge dépend de la présence de l'oxydule de cuivre répandu dans la couverte; que cette couverte cuit à une température très-élevée, quoique cependant inférieure à celle du grand feu de Sèvres, peut-être égale à celle du grand feu des fours chinois; que la fusibilité de cette couverte est augmentée par la proportion de la chaux dont la quantité varie et dont nous avons constaté l'existence, M. Ebelmen et moi, dans toutes les couvertes des porcelaines de la Chine. Les tentatives que j'ai faites jusqu'à ce jour pour obtenir cette couleur ont d'ailleurs confirmé les données qui précèdent. J'ai reproduit cette couleur en faisant un mélange de :

Feldspath	50,00
Craie	12,00
Oxyde de cuivre	6,00
Sable d'Aumont	38,00
	106,00

Ce qui correspond à :

Silice	76,00
Alumine et oxyde de fer	7,75
Chaux et magnésie	6,08
Potasse et soude	3,72
Oxyde de cuivre	6,00

On est forcé, dans ce dosage, d'exagérer la quantité d'oxyde de cuivre à cause de sa volatilité dans une atmosphère réductive. Cet émail est aussi plus dur que la couverte de Chine; mais cette condition est indispensable pour ne pas s'exposer aux tressaillures; on doit même, pour éviter plus facilement ce défaut, composer différemment la pâte en la rendant plus fusible, c'est-à-dire en rapprochant sa composition de celle des porcelaines de la Chine. La pâte qui suit donne de bons résultats :

Pâte de service définie	80
Feldspath pour couverte	20
	100

La pâte de service définie ne peut convenir pour les pièces à couverte rouge; les conditions d'enfumage pour développer et maintenir la coloration du cuivre à l'état d'oxydule, s'opposent au tirage du four, et la pâte ordinaire ne cuit que difficilement. Si l'on cherche à la rendre transparente, il faut perdre la couleur rouge et, par l'excès du feu, la couverte même durcie comme celle que j'ai donnée, coule et se déplace.

J'ai pu, en rétrécissant simplement la cheminée d'un petit four, obtenir des pièces rouges faites avec la pâte attendrie; la couverte ne tressaille pas, ce qui est rare même sur des pièces de la fabrication chinoise.

Bleu pour porcelaine dure.—Le bleu de Sèvres est encore un véritable émail qui exige plus de chaleur que les couleurs que nous venons d'examiner. L'oxyde de cobalt est dissous.

Voici du reste le procédé le plus simple pour l'obtenir, c'est celui dont je fais usage dans mon service de Sèvres. Depuis 1846, j'ai constamment fait cette coloration avec l'oxyde de cobalt venant de Birmingham; en raison de la pureté de cet oxyde et de sa puissance colorante, il a fallu modifier le dosage anciennement accepté. Je prends actuellement :

Oxyde de cobalt	14
Couverte ou pegmatite	86
	100

Le bleu, préparé comme il est dit plus haut, est très-fleuri, bien vitreux et n'a donné que très-rarement ces espèces de taches géodiques cristallisées et rosâtres que présentaient assez fréquemment les bleus provenant des oxydes de cobalt préparés au laboratoire de Sè-

vres. On n'a pas remarqué que ces fonds eient, plus que les autres, tendance à grésiller.

Il convient, quand on fritte le mélange de pegmatite et d'oxyde de cobalt, de ne pas fondre à une chaleur trop intense; le bleu devient alors court et d'un emploi difficile.

Nous donnerons ici, comme nous l'avons fait pour les autres matières colorantes, quelques compositions, en les distinguant naturellement par espèces de poteries. Nous commencerons par les faïences communes, pour finir par les faïences fines et les porcelaines dures.

Faïences communes. — Nous avons vu comment on préparait les émaux blancs pour faïence, on trouve dans le commerce quelques pièces de faïence colorées en jaune, en vert, en brun, en bleu. Nous indiquons ici les dosages au moyen desquels on obtient ces colorations.

1° Émail jaune. On fait usage d'émail blanc, on ajoute soit de l'oxyde d'antimoine, soit du jaune de Naples. On peut fondre d'une seule pièce les éléments suivants, qui donnent une composition suffisamment fusible.

Minium	125
Sable	50
Borax	25
Antimoniate de potasse	10
Oxyde de fer rouge	2

2° Émail bleu. On mélange :

Émail blanc	95
Oxyde de cobalt azur	5

En augmentant la dose de bleu d'azur, on obtient un bleu plus intense.

3° Émail vert. On mélange encore :

Émail blanc	95
Oxyde de cuivre	5

4° Émail vert-pistache. On triture ensemble :

Émail blanc	94
Protoxyde de cuivre	4
Jaune de Naples	2

5° Émail violet. On mélange :

Émail banc	94
Carbonate de manganèse pur	6

Tous ces émaux peuvent se faire, comme l'émail blanc, en mélangeant les oxydes à la composition qui doit donner le blanc et fondant de la même manière que s'il s'agissait de fondre de la glaçure ordinaire. Dans quelques cas, on se contente d'ajouter l'oxyde colorant aux émaux blancs finement broyés.

Il faut éviter pendant la cuisson de placer à côté des pièces blanches celles qui sont vertes ou bleues, car il y aurait coloration par volatilisation.

Poteries colorées. — Les poteries communes reçoivent des colorations très-variées du fait de l'addition à leur glaçure de principes colorants. Les poteries jaunes, par exemple, sont obtenues au moyen de l'addition d'une certaine quantité de minium dans la glaçure.

1° Poterie jaune. On prend :

Minium	70
Argile de Vanvres	16
Sable de Belleville	14

2° Poterie brune. On triture ensemble :

Minium	70
Argile de Vanvres	13
Sable de Belleville	13
Oxyde de manganèse	14

3° Poterie verte. On mélange :

Minium	66
Argile de Vanvres	15
Sable de Belleville	15
Oxyde de cuivre	4

Ces matières sont mêlées ensemble, puis broyées dans des meules en grès mues à bras à l'aide d'un manche vertical attaché sur un point de la circonférence.

On fait usage, dans les fabriques importantes, de tournants qu'on affecte au broyage d'une même couleur.

Porcelaine tendre française. — On prépare un flux de très-bonne qualité pour les fonds de porcelaine tendre employés comme vernis coloré ou comme fond de couleur applicable sur la poterie déjà mise en glaçure, en fondant :

Sable	825	grammes.
Minium	500	—
Carbonate de soude	200	—

Ce flux est coloré de la manière suivante, en ajoutant avant la fonte :

Savoir :

En turquoise bleue	oxyde de cuivre	100
En turquoise verte	oxyde de cuivre	100
	oxyde de chrome	2
En vert-pomme	oxyde de cuivre	100
	oxyde de chrome	10
En jaune verdâtre	oxyde de cuivre	100
	oxyde de chrome	15
En bleu foncé	oxyde de cobalt	16
En bleu moyen	oxyde de cobalt	6
En bleu pâle	oxyde de cobalt	1,5
En lilas clair	oxyde de manganèse	40
En violet clair	oxyde de manganèse	60
	oxyde de cobalt	3
En ivoire	oxyde de fer rouge	80
En rose foncé	or à l'état de pourpre	0,64
En rose clair	or à l'état de pourpre	0,32

Ces exemples suffisent pour donner l'indication de la marche à suivre : on mélange les éléments du fondant, on ajoute les oxydes colorants, puis on fond; je fais ces fontes dans un petit fourneau métallurgique. Un avantage de ces fonds, c'est qu'ils peuvent être appliqués sur des pâtes ou des engobes colorés, et donner par superposition des colorations qu'il ne serait pas possible d'obtenir autrement.

Les Chinois font un assez grand usage de superpositions, et l'emploi de ce moyen ajoute à leur fabrication un caractère très-grand d'originalité.

On donne aux fonds colorés, dans la glaçure dont on recouvre les porcelaines, le nom de fonds par immersion. Cette désignation vient de ce que ces glaçures colorées sont appliquées comme les autres glaçures, et par les méthodes expéditives de l'immersion. Cependant, exceptionnellement, on se sert de l'arrosement pour poser les fonds des faïences communes; et c'est par saupoudration ou tamisage qu'on a placé jusqu'à ce jour les fonds dont on fait un grand emploi sur la porcelaine tendre.

C. Examinons les émaux pour peindre. Les couleurs qui composent les assortiments, employées en Chine et que différents voyageurs ont apportées en France, sont, les unes brutes, et les autres préparées.

La différence qui les sépare n'existe seulement, quelquefois, que dans la préparation mécanique qu'on fait subir à la couleur brute pour la rendre susceptible d'être appliquée, au pinceau, sur la pièce à décorer; d'autres fois, en même temps qu'on broie la

couleur brute, on y ajoute, ou de la céruse, si l'on veut le rendre plus fusible, ou du sable, si on la trouve trop tendre.

Dans le premier cas, la couleur brute doit présenter, avec la couleur préparée, une identité complète de composition. Nous avons, M. Ebelmen et moi, autant que nous l'avons pu, analysé simultanément les deux espèces de couleurs. Je ne puis donner ici les résultats de ce travail; j'indique, pour y recourir en besoin, le *Recueil des travaux scientifiques* d'Ebelmen, t. 1, p. 377.

Quelle que soit leur origine, les couleurs qui servent à la Chine dans la décoration des porcelaines présentent toutes, en même temps qu'une grande simplicité, un caractère de généralité qui ne peut échapper; le fondant qui n'est pas distinct dans la couleur est toujours composé de silice, d'oxyde de plomb dans des proportions peu variables et d'une quantité plus ou moins grande d'alcalis (soude et potasse). Ce fondant maintient en dissolution à l'état de silicates quelques centièmes seulement d'oxydes colorants dont le nombre est excessivement restreint. Les matières colorantes sont : l'oxyde de cuivre pour les verts et verts bleuâtres, l'or pour les rouges, l'oxyde de cobalt pour les bleus, l'oxyde d'antimoine pour les jaunes, l'acide arsénique et l'acide stannique pour les blancs, quelquefois le phosphate de chaux.

L'oxyde de fer et les oxydes de manganèse impur, qui donnent, l'un du rouge, l'autre du noir, font seuls exception, et c'est sans doute parce qu'il est impossible d'obtenir ces couleurs, par voie de dissolution, avec ces derniers oxydes; ces matières rentrent alors dans la classe des couleurs proprement dites.

Cette composition spéciale des couleurs de la Chine entraîne des aspects particuliers dans les décorations qu'elles servent à produire, et c'est d'elle que les peintures chinoises et japonaises tirent leur caractère distinctif.

Quelques couleurs s'appliquent directement, telles que le commerce les fournit; d'autres, au contraire, exigent, avant de pouvoir être employées, une addition variable fixée par l'expérience, préalablement sans doute; on les ramène de la sorte à se développer toutes à une température déterminée. L'assortiment rapporté de Canton, enlevé sur la table d'un peintre chinois, nous donna l'exemple d'une palette toute préparée. Les additions avaient dû être faites, et nous avons pu constater que la céruse ajoutée l'a été pour la plupart en petite quantité, si même celle que l'analyse nous a fait découvrir ne provient pas d'un commencement d'altération de la couleur pendant le broyage.

En Europe, les couleurs pour peindre la porcelaine dure sont formées par un mélange de certains oxydes et de certains fondants; nous venons de dire que les couleurs de la Chine diffèrent complétement, et pour la nature des éléments du fondant, et pour les proportions de l'oxyde colorant. On ne trouve pas des différences moins tranchées quand on envisage l'état dans lequel se trouve la matière colorante dans ces deux sortes de couleurs. Et les deux assortiments ne peuvent plus être comparés quand on vient à établir le parallèle entre les substances employées, dans les deux cas, comme principes colorants.

On vient de voir que les oxydes dans la palette des Chinois étaient bornés à l'oxyde de cuivre, à l'or, à l'antimoine, à l'arsenic, à l'étain et à l'oxyde de cobalt impur, qui donne tantôt du bleu, tantôt du noir; enfin à l'oxyde de fer, qui fournit une nuance de rouge. Nous verrons que dans les couleurs d'Europe, pour lesquelles on fait usage des divers oxydes que nous venons de citer, on tire, en outre, un très-grand parti de substances inconnues des Chinois. On modifie la nuance de l'oxyde de cobalt pur en le combinant à l'oxyde de zinc ou à l'alumine, quelquefois à l'alumine et à l'oxyde de chrome; l'oxyde de fer pur fournit une dizaine de rouges nuancés du rouge orangé au violet de fer très-foncé; on obtient des ocres pâles ou foncés, jaunes ou bruns, en combinant diverses proportions d'oxyde de fer, d'oxyde de zinc et d'oxyde de cobalt ou de nickel; les bruns se préparent en augmentant la dose de l'oxyde de cobalt contenu dans la composition qui fournit les ocres; les noirs, par la suppression de l'oxyde de zinc dans les mêmes préparations. Nous varions les nuances de nos jaunes par des additions soit d'oxyde de zinc ou d'étain pour les éclaircir, soit d'oxyde de fer pour les rendre plus foncés. L'oxyde de chrome pur ou combiné, soit à l'oxyde de cobalt, soit aux oxydes de cobalt et de zinc, donne des verts jaunes et des verts bleuâtres qui peuvent varier du vert pur au bleu presque pur.

L'or métallique nous fournit le pourpre de Cassius, que nous transformons ensuite, à volonté, en violet, en pourpre ou en carmin. Nous citerons encore l'oxyde d'urane, les chromates de fer, de baryte, de cadmium, qui donnent d'utiles couleurs, et nous terminerons en indiquant l'application toute récente des métaux inoxydables au feu, dont la découverte et la préparation exigent des connaissances en chimie que les Chinois sont loin de posséder.

Tous ces différents principes colorants se trouvent dans les couleurs européennes à l'état de simple mélange; dans les couleurs des Chinois, les oxydes sont, au contraire, dissous, et cette circonstance nous permet de les rapprocher d'une autre sorte de produits qui, répandus à la Chine, se présentent aussi fréquemment dans l'industrie d'Europe. Ce rapprochement nous permet de classer ces matières colorantes parmi les émaux proprement dits; et, en effet, nous avons trouvé dans les composés vitreux, qui sont désignés en France sous le nom d'émaux, non-seulement la même coloration obtenue par les mêmes oxydes, mais une composition de fondant analogue et quelquefois identique. Les émaux transparents ne sont-ils pas, comme on sait, des composés vitreux, dont la composition est variable en vertu de la fusibilité qu'ils doivent offrir, et colorés par quelques centièmes d'oxydes. Les bleus sont fournis par de l'oxyde de cobalt, les verts par du deutoxyde de cuivre, les rouges par de l'or; les émaux opaques, jaunes ou blancs, doivent leur coloration, leur opacité, soit à l'antimoine, soit à l'acide arsénique ou à l'acide stannique, quelquefois au phosphate de chaux.

Voici, du reste, les analyses que nous avons faites de différents émaux pris dans le commerce et destinés à la fabrication des bijoux émaillés sur cuivre, sur or ou sur argent :

	Bleu.	Rubis.	Vert.
Perte au feu	1,00	0,06	0,10
Silice	51,00	47,70	53,63
Oxyde de plomb	34,57	31,19	25,30
Oxyde de cobalt	1,00	0,10	0,00
Oxyde de fer	traces.	0,40	0,46
Oxyde de manganèse	0,00	1,20	0,20
Alumine	traces.	0,26	0,60
Chaux	2,10	1,80	1,26
Magnésie	traces.	traces.	traces.
Oxyde de cuivre	traces.	traces.	0,60
Or métallique	0,00	0,16	0,00
Potasse et soude	10,34	13,23	17,80
Oxyde d'étain	»	3,60	0,03
	100,00	100,00	100,00

Les fondants qui servent pour l'émaillage soit de l'or, soit de l'argent, soit du cuivre; celui qu'on applique sur la peinture dite sous fondant, peuvent encore être

comparés avec les couleurs dont les Chinois se servent pour décorer leurs porcelaines; on trouve que ces composés sont semblables. Il n'y a de différence entre eux que sous le rapport de la fusibilité, qui est un peu plus grande pour les émaux chinois.

	Fondants pour		
	Argent.	Or.	Peinture.
Perte au feu.	0,30	0,40	0,40
Silice	48,40	53,60	44,82
Oxyde de plomb. . . .	38,25	31,46	41,59
Oxyde de cuivre. . . .	0,32	traces.	traces.
Oxyde de fer.	0,25	0,40	0,31
Oxyde de manganèse. .	0,00	0,60	0,45
Alumine.	0,14	0,54	0,46
Chaux.	0,60	0,26	0,82
Magnésie.	traces.	traces.	0,05
Alcalis.	12,04	12,31	11,70
	100,00	100,00	100,00

Nous avons complété ces recherches en faisant l'essai des assortiments que nous avons examinés, M. Ebelmen et moi, sur des porcelaines de Chine et sur des porcelaines d'Europe. Sur porcelaine de Chine, les couleurs se sont développées à une température inférieure à la température du feu de retouche des peintres de fleurs à la manufacture de Sèvres; elles n'ont pas écaillé. Mais, sur la porcelaine de Sèvres, bien qu'elles fussent développées, elles se sont toutes détachées par écailles. On savait depuis longtemps, par suite d'expériences directes, que les émaux ne pouvaient servir que difficilement à la décoration des porcelaines d'Europe, précisément à cause du grave défaut que je viens de signaler. Quelle que soit la cause qui détermine sur les porcelaines européennes le défaut d'adhérence des émaux, nous pensons qu'elle réside dans la différence de nature de la couverte des deux porcelaines.

Nous avons vu plus haut que la pâte plus fusible des porcelaines de Chine devait être recouverte d'une glaçure plus fusible que celle dont on se sert en Europe, et c'est l'introduction de la chaux dans la couverte qui, diminuant l'infusibilité de cette glaçure, modifiant peut-être sa dilatabilité, en rapproche les propriétés physiques des propriétés des émaux. Si l'aspect des porcelaines des Chinois est différent de celui de nos productions, si l'harmonie des décorations de ces peuples paraît plus complète, c'est, suivant nous, le résultat forcé de leurs méthodes. Toutes les couleurs dont ils se servent sont peu colorées; elles n'ont de valeur que sous une certaine épaisseur qui donne à leurs peintures un relief impossible à obtenir par d'autres moyens; l'harmonie de leurs peintures est la conséquence de la nature et de la composition de leurs émaux.

COULEURS.

Nous avons donné le nom de couleurs aux matières vitrifiables, employées dans la décoration céramique lorsqu'elles sont composées de telle sorte qu'elles portent en mélange la quantité de matière fondante capable de faire adhérer la peinture à la glaçure (vernis, émail ou couverte), et capable en même temps de lui communiquer après la cuisson un glacé semblable au moins à celui de la peinture à l'huile passée sous le vernis. Ce que nous avons dit déjà des oxydes, des engobes et des émaux s'applique parfaitement aux qualités que posséderont les couleurs pour être de bonne qualité. Nous n'aurons donc ici qu'à rappeler brièvement la plupart de ces qualités.

Toutes les couleurs doivent réunir plusieurs conditions indispensables à leur usage :

1° Fondre toujours à des températures déterminées et ne pas s'altérer à ces températures; l'emploi de toute couleur volatile ou d'origine organique est donc exclu d'une manière absolue;

2° Adhérer fortement au corps sur lequel on les applique; il faut en connaître la nature chimique pour apprécier son influence sur la couleur;

3° Conserver en général un aspect vitreux après la cuisson; je dis en général, car on a fait à diverses époques des peintures mates, mais c'est l'exception;

4° Être inattaquables par l'eau, par l'air humide ou sec et par les gaz répandus dans l'atmosphère;

5° Enfin, être en rapport de dilatabilité avec les surfaces qu'elles recouvrent.

Les couleurs doivent en outre, pour être d'un bon usage, posséder plusieurs qualités spéciales, comme une fusibilité toujours plus grande que celle de l'excipient sur lequel on les applique. Quelquefois la différence entre la fusibilité de la glaçure et celle de la couleur est considérable, comme pour la porcelaine dure; dans d'autres cas, cette différence est presque nulle; c'est ce qui arrive pour les couleurs de porcelaine tendre et de faïence. C'est un avantage réel, car la couleur pénètre la glaçure et s'identifie pour ainsi dire avec elle sans courir aucun risque de se détacher en écailles.

La dureté des couleurs varie avec leur composition. On doit toujours leur donner le degré de dureté nécessaire pour qu'elles résistent suffisamment au frottement des corps durs avec lesquels elles peuvent être en contact. Quant à leur résistance à l'action chimique des corps, elles ne doivent éprouver aucune altération de la part des substances auxquelles elles sont exposées dans les conditions ordinaires, telles que les acides végétaux, les graisses chaudes et le gaz sulfhydrique que dégagent les œufs en cuisant ou qui peut être répandu dans l'atmosphère.

La dilatabilité des couleurs comparée à celle du corps qui les reçoit paraît être l'une des conditions les plus importantes auxquelles les couleurs soient assujetties.

On peut grouper les couleurs sous différents points de vue. Celui qui fera remarquer entre elles les différences les plus réelles nous semble le meilleur. Or ce sont les températures auxquelles elles se développent bien sans s'altérer, c'est-à-dire les températures qu'elles doivent ou peuvent éprouver pour être cuites, qui nous paraissent offrir ce point de vue capital. Nous les diviserons donc en couleurs de moufle ordinaire ou couleurs tendres, en couleurs de demi-grand feu ou couleurs dures, enfin en couleurs de grand feu. Les deux premiers groupes s'appliquent sur les glaçures; le troisième groupe cuit avec la glaçure et doit donc être soumis au même degré de chaleur que celle-ci sans être altéré.

La plupart des décorations au grand feu sont des émaux; il n'y a que très-peu de couleurs proprement dites. Les couleurs des deux premiers groupes diffèrent peu dans leur composition; celles du troisième groupe en exigent une plus spéciale.

Avant d'entrer dans la description des couleurs de ces trois groupes et de leur application aux diverses poteries, il faut faire connaître la préparation des éléments qui entrent dans leur composition : ce sont les oxydes métalliques et les fondants. Le succès qu'on peut obtenir constamment dans la préparation des couleurs dépend de la pureté des oxydes et de l'identité des fondants.

Il faut arriver au point d'être sûr qu'en prenant dans les bocaux les oxydes et les fondants préparés dans des circonstances convenables, on prend un corps qui est toujours le même, non-seulement dans sa composition chimique, mais dans son état moléculaire, ce dernier ayant une grande influence sur la nuance de la matière colorante après la cuisson.

Une étude attentive et raisonnée des matières employées à la décoration des poteries, considérées sous le double point de vue des oxydes et des fondants, est

seule capable de garantir d'une foule d'erreurs qu'on ne peut éviter ordinairement que par des tâtonnements pénibles; seule encore elle permettra d'obtenir, toutefois avec des formules convenables, des couleurs de composition parfaitement définie.

Pour faciliter l'étude des couleurs envisagées de cette manière, nous conserverons donc ici la distinction qu'ont établie MM. Dumas et Brongniart entre les oxydes et les fondants : c'est sur cette même distinction que repose la différence que nous avons admise nous-même entre les couleurs et les émaux.

Sous le nom de couleurs vitrifiables, on confondait généralement autrefois la couleur elle-même et son fondant; on considérait ces deux substances comme capables de s'unir chimiquement par la fusion et comme formant après celle-ci un tout homogène. J'ai fait voir depuis longtemps que dans quelques cas seulement il en est ainsi : l'oxyde de cobalt, les oxydes de cuivre ne donnent, en effet, de coloration qu'à l'état de silicates ou de sels; mais pour toutes les autres couleurs, au contraire, l'oxyde de chrome et l'oxyde de fer en offrent un exemple remarquable, le fondant n'est qu'un véhicule qui enveloppe le principe coloré et le fixe sur l'excipient sur lequel on l'applique. Cette distinction une fois admise, il est permis de considérer isolément, l'une après l'autre, la couleur proprement dite et son fondant; on peut étudier séparément la préparation chimique des éléments colorants, les oxydes et la fabrication des principes fusibles qui doivent les faire adhérer ou glacer à la surface des corps sur lesquels on les pose. Les conditions indispensables auxquelles les matières colorantes doivent satisfaire, limitent notablement le nombre des substances susceptibles de servir à la fabrication des couleurs vitrifiables. Nous les avons fait connaître; ces considérations nombreuses ne sont cependant pas les seules dont il faille tenir compte. Dans la peinture sur porcelaine, et c'est là surtout qu'il importe d'atteindre la perfection, quand les couleurs doivent être mélangées pour produire des nuances variées à l'infini, on comprend la nécessité de proscrire l'emploi de toutes les substances qui, à la température de la cuisson, pourraient réagir les unes sur les autres de manière à changer de ton; cette nouvelle considération limite encore considérablement le nombre des principes colorants d'un emploi certain.

Jusqu'à présent les matières employées sont, parmi les oxydes simples :

L'oxyde de chrome;	L'oxyde de cobalt;
L'oxyde de fer;	L'oxyde d'antimoine;
L'oxyde d'urane;	L'oxyde de cuivre;
L'oxyde de manganèse;	L'oxyde d'étain;
L'oxyde de zinc;	L'oxyde d'iridium.

Parmi les sels purs ou mêlés de matières terreuses :

Le chromate de fer;	Le pourpre de Cassius;
Le chromate de baryte;	La terre d'Ombre;
Le chromate de plomb;	La terre de Sienne;
Le chlorure d'argent;	Les ocres rouges et jaunes.

Nous ne saurions faire connaître ici, sous peine de donner à cet article une étendue beaucoup trop considérable, les diverses méthodes auxquelles on doit recourir pour la préparation de ces différentes matières, en vue surtout des couleurs dans la composition desquelles elles entrent; nous nous bornerons, après avoir renvoyé le lecteur à nos *Leçons de céramique*, t. I et II, à présenter quelques dosages qui se rapportent à la fabrication des couleurs proprement dites.

Cet exposé sera précédé de l'indication des principaux fondants.

Si l'on fixe son attention sur la nature chimique des différentes glaçures sur lesquelles on peut appliquer les couleurs vitrifiables; si l'on considère que les unes fondent à une température voisine de celle à laquelle les couleurs se fixent; que les autres, plus dures, ne s'y ramollissent pas, et qu'alors toute la fusion doit provenir du fondant, on admettra sans peine que la température à laquelle les couleurs se cuisent est variable avec la nature du produit que l'on veut décorer, et que l'action des divers agents fusibles doit être différente pour à peu près tous les genres de poterie.

On conçoit donc qu'il y a des différences tranchées entre tous les fondants. Elles tiennent à la composition des matières fusibles qu'on emploie dans leur préparation et aux proportions dans lesquelles on les mélange. Nous prendrons comme exemple les couleurs tendres de porcelaine dure, et parce que ce sont les plus nombreuses, et parce qu'elles peuvent servir de point de départ facile et simple pour les couleurs applicables à la décoration des autres poteries. Nous en déduirons quelques composés propres à décorer la faïence stannifère.

Les matières qui entrent dans la composition des fondants sont :

Le sable ou quartz;	Le nitre;
Le feldspath;	Le carbonate de potasse;
L'acide borique;	Le carbonate de soude;
Le borax;	Le minium et la litharge;
Le borate de chaux;	L'oxyde de bismuth.

Nous connaissons déjà toutes ces substances qui entrent, comme parties fusibles, soit dans les pâtes céramiques, soit dans les glaçures de ces pâtes. Nous ajouterons que, quelque variées que puissent être les proportions dans lesquelles on pourrait combiner ces substances pour obtenir des composés plus ou moins fusibles, les conditions qui limitent le nombre des couleurs vitrifiables limitent sensiblement aussi le nombre de ces fondants; et l'on comprend les motifs qui ont fait réduire au plus petit possible le nombre de ces fondants. Les couleurs qui servent à décorer le même excipient doivent se mêler ensemble, et cette condition est surtout indispensable pour la peinture sur porcelaine. Mélangées en toutes proportions pour produire les tons variés à l'infini dont l'artiste a besoin, ces couleurs doivent porter chacune la nuance qui lui est propre; il faut donc écarter les matières fusibles qui modifieraient les oxydes, et ne faire usage que de fondants qui présentent une certaine analogie dans leur composition.

L'étude des fondants se réduit à celle de six composés, tous employés comme principes fusibles dans la préparation des couleurs de porcelaine dure, et pouvant entrer comme fondants, avec quelques légères modifications, dans les couleurs de porcelaine tendre, des faïences fines et communes, etc. Ces fondants principaux ont dans l'industrie des couleurs vitrifiables des noms particuliers. Nous leur donnerons des numéros d'ordre pour les faire figurer d'une manière très-brève dans les dosages que nous nous proposons de donner; ce sont :

Le fondant aux rouges, n° 1;	Le fondant de pourpre, n° 4;
Le fondant aux gris, n° 2;	Le fondant de violet, n° 5;
Le fondant de carmin, n° 3;	Le fondant de bleu, n° 6.

Fondant n° 1. — On fond :

Sable.	200
Minium.	600
Borax fondu.	100

On coule quand tout est fondu et l'on pile dans un mortier de porcelaine.

Les observations qui suivent sur cette préparation ont leur importance : on mêle bien les trois éléments qui composent le fondant, on fait fondre dans un

fourneau qui donne un bon coup de feu; la masse se trouve convertie en un verre jaune verdâtre, si le minium ou la litharge dont on s'est servi ne contient que très-peu de cuivre. C'est un borosilicate de protoxyde de plomb et de soude.

Quelques fabricants fondent le mélange de sable de minium et de borax dans un creuset qu'ils exposent, pendant toute la durée de la cuisson, à la température du dégourdi des fours à porcelaine. Après le défournement, ils cassent le creuset pour en retirer le fondant; c'est une mauvaise méthode. Exposé longtemps à la chaleur, sous l'influence des vapeurs humides ou réductives, le fondant perd de l'oxyde de plomb et devient plus dur; il subit, en outre, l'action du creuset, qui lui cède de l'alumine et de la silice, ce qui le durcit encore. Je préfère lui conserver sa composition et sa fusibilité intactes en le fondant rapidement. On le coule sur une plaque de métal aussitôt après fusion complète.

Fondant n° 2. — On fond comme précédemment le même mélange, mais on triture dans un mortier de fer. On fond ces mélanges dans un creuset de terre, dans un bon fourneau; on coule.

Les observations que nous avons faites au sujet du fondant n° 1 s'appliquent encore à celui-ci.

Fondant n° 3. — Il sert pour les carmins. On fond le mélange suivant :

Borax.	500
Sable.	300
Minium.	100

On ne coule pas; on retire avec les pinces : la matière fondue est blanchâtre et opaline.

Fondant n° 4. — Pour les pourpres. On fond et on retire avec les pinces, comme plus haut, le mélange suivant :

Borax.	600
Sable.	400
Minium.	100

Fondant n° 5. — Pour les violets. On fait fondre après trituration :

Sable.	100
Minium.	400
Acide borique cristallisé.	400

Le verre qui résulte de cette fonte est très-fusible.

Fondant n° 6. — Pour les rouges et les bleus. On fond :

Minium.	600
Acide borique cristallisé.	300
Sable.	100

Ce fondant est assez fusible.

Quelques praticiens recommandent de couler dans l'eau ces différents fondants; c'est une précaution qui ne peut être que nuisible; elle enlève certainement du borax au fondant et ne peut l'améliorer sous aucun rapport.

Nous avons dit que les oxydes ne supportaient pas tous également bien une température élevée. De là des distinctions essentielles entre les couleurs vitrifiables. Nous avons vu que celles qui peuvent résister sans altération à la température nécessaire pour cuire les vernis, émaux ou couvertes de poteries, s'appellent couleurs au grand feu.

Elles sont d'autant moins nombreuses que les glaçures doivent cuire à une température plus élevée. Nous ne devons pas oublier qu'un grand nombre de celles applicables sur les porcelaines dures, comme le bleu de cobalt, le verre de chrome, les bruns de fer, de manganèse et de chromate de fer; les jaunes obtenus avec l'oxyde de titane, les noirs d'urane, sont plutôt des émaux ou des oxydes que des couleurs proprement dites.

Nous rappellerons aussi que, d'une part, les colorations du grand feu, mais de seconde température, cuites sur porcelaines tendres, que les violets, les rouges et les bruns de manganèse, de cuivre et de fer, qui décorent quelques porcelaines de la Chine, ne sont encore que des émaux; il en est de même pour les faïences fines et communes, des jaunes d'antimoine, des bruns de manganèse, des verts de cuivre et des bleus de cobalt.

Nous voyons qu'en réalité les couleurs de grand feu, en tant qu'on ne considère que les couleurs proprement dites, sont très-peu nombreuses. Ces dernières sont, au contraire, fréquentes parmi les matières colorantes qui ne peuvent supporter une très-haute température sans éprouver de grandes altérations, et qui, pour cela, doivent être fondues à une température de beaucoup inférieure; le maximum n'atteint pas le degré de fusion de l'argent fin; elles portent le nom de couleurs de moufle pour les porcelaines et les faïences fines, et de couleurs de réverbère pour la faïence émaillée. On conçoit, dans cette dernière série, la possibilité d'en avoir de toutes les nuances, pour toutes les sortes de peintures et de glaçures.

Les couleurs au grand feu, prises dans leur ensemble, émaux et couleurs proprement dites, ont sur les couleurs de moufle un grand avantage, c'est celui de pouvoir recevoir, sans se ramollir, la dorure dont on veut les rehausser. Cette considération a dirigé des essais dont le succès a été complet, et qui fournissent aux décorateurs une série plus complète que la palette au grand feu; on les a nommées couleurs de demi-grand feu ou couleurs de moufle dures. Ces couleurs se glacent au moufle, mais à une température bien plus élevée que les couleurs à peindre, qu'on désigne sous le nom de couleurs de moufle tendres. Ces couleurs une fois cuites peuvent recevoir d'autres couleurs, la dorure brunie, la platinage, etc., sans qu'on soit obligé, comme pour les couleurs tendres, d'enlever au grattoir la couleur qui fait le fond; ce qui était très-long, et rendait très-difficiles et très-coûteuses les dorures ou ornements sur fond de couleur tendre.

Lorsque, par les procédés que nous avons détaillés, on s'est procuré, d'une part, les oxydes, de l'autre, les fondants, il faut composer la couleur et la rendre propre à l'emploi. On la prépare par le mélange, en proportions déterminées, des oxydes ou principes colorants, avec le fondant qui doit les faire adhérer. Quelquefois, mais en apparence seulement, on opère différemment; alors les procédés dont on se sert sont économiques en temps et en dépenses, ils permettent d'accomplir simultanément deux opérations distinctes qu'il est facile de séparer par la pensée : d'abord la préparation du principe colorant, puis le mélange de ce principe avec la composition fusible qui doit le fixer et le faire glacer. Ainsi lorsqu'on met dans un creuset du minium, du sable, du borax et de l'antimoniate de potasse, on fait en même temps du jaune de Naples et du fondant. On les fait ensemble; on pourrait les faire isolément, puis les mêler, et la couleur n'en serait ni moins belle, ni moins bonne. Le premier procédé est économique et court; le second serait plus dispendieux et plus long.

Considérées sous le rapport des procédés mis en usage pour les fabriquer, les couleurs pourraient être divisées en trois groupes :

1° Les couleurs qui se fondent;
2° Les couleurs qui ne se fondent pas;
3° Les couleurs qui se frittent.

A. Les couleurs qui ne se fondent pas sont celles

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

qui, comme les couleurs fournies par l'oxyde de fer et l'oxyde de chrome, ont de suite à l'emploi le ton qu'elles doivent avoir, ou qui, comme les couleurs tirées de l'or, ne supporteraient pas cette fusion préalable sans s'altérer; les oxydes se mêlent seulement aux fondants.

B. Les couleurs qui se fondent sont celles dans la composition desquelles entrent des oxydes qui seuls n'ont pas de couleur et qui ne sont colorés qu'à l'état de sels, c'est-à-dire en combinaison, soit avec la silice, comme le cobalt et le cuivre, soit avec le plomb, comme l'antimoine. Les verts de cuivre, les bleus de cobalt et les jaunes d'antimoine sont dans ce cas; on mêle les oxydes avec les fondants, et on fond à une température variable pour chaque couleur, afin de déterminer la combinaison colorée.

C. Les couleurs qui se frittent seulement sont celles qui n'ont pas le ton à l'emploi; l'oxyde, comme dans le cas qui précède, n'a pas le ton qu'il doit conserver, mais la température de la fusion serait trop élevée; l'oxyde et le fondant sont mêlés, et la température, graduellement élevée, sert seulement à ramollir la surface. Ces couleurs sont les plus délicates.

Toute couleur doit, à l'usage, être considérée sous deux points de vue très-importants :

1° Le ton, la nuance même qu'elle doit présenter après la cuisson, et dont il faut la rapprocher, autant que possible, avant d'être cuite;

2° La propriété de pouvoir former, avec d'autres couleurs appropriées, des mélanges qui conservent ou prennent au feu les tons qu'on veut avoir. Cette dernière qualité, sans laquelle il serait impossible de faire de la peinture d'art, dépend uniquement de la pureté des corps qui entrent dans la composition. Une fois que des couleurs, par leur association en proportions sensiblement les mêmes, auront donné au feu, dans certaines limites de température, un ton ou une nuance voulue, elles donneront constamment la même; c'est donc à remplir ces conditions de pureté, de proportions bien déterminées, que doivent tendre les recherches et la science du chimiste chargé de les préparer.

Outre ces deux premières conditions, il faut que les couleurs possèdent une troisième qualité non moins importante, celle d'être glacées et de ne point écailler lorsque, mises à une épaisseur convenable, elles seront cuites à la température qui leur convient.

Les couleurs qui se frittent peuvent souvent offrir des teintes assez éloignées les unes des autres dans deux préparations différentes; c'est la température seule qui leur donne leur ton, et nous savons qu'il est très-difficile de la régler. Quand une couleur de cette nature n'a pas la nuance voulue, il est possible de la corriger, soit par des additions de couleurs qui, par leur mélange, la ramènent au ton désiré, soit par des additions de couleurs faites avec la même recette, mais péchant par le défaut contraire; le premier moyen doit être rejeté toutes les fois qu'il s'agira d'une couleur à mêler : il est bon tout au plus pour des couleurs de fond. La couleur ainsi corrigée perd sa composition, et c'est d'elle que dépendent ses bonnes qualités dans les peintures. Elle ne peut plus servir qu'employée sans mélange, comme couleur pour fond. Quant à la seconde méthode, elle ne saurait modifier les propriétés des couleurs; la composition reste constante, identique, et la couleur conserve ses propriétés fondamentales.

Nous allons donner maintenant, à titre d'exemple, les procédés à l'aide desquels on fabrique chaque couleur pour la porcelaine dure. Ils sont journellement employés à la manufacture de Sèvres. Mais comme il ne nous est pas possible de donner ici toute la série des couleurs préparées pour cet établissement, nos recettes seront en quelque sorte réduites à leur plus simple expression. Il sera facile d'en déduire la composition des couleurs de porcelaine tendre et de faïence fine; en effet, les bleus et les jaunes vont également bien sur la plupart des poteries, et pour les autres couleurs il suffit de mettre un peu moins de fondant lorsque les glaçures sont plus fusibles et ramollissables.

Couleurs pour porcelaine dure. — Nous commencerons par les blancs.

Blancs. — Les blancs ont pour base l'oxyde d'étain, l'acide arsénieux ou le phosphate des os; on modifie le blanc d'émail ou de faïence commune par une addition de nitre ou de minium.

Gris. — Les gris sont généralement des mélanges de couleurs variées; on distingue des gris clairs et des gris foncés :

Gris n° 1. — On mélange au mortier de porcelaine :

Noir n° 2	400
Gris n° 2	400
Bleu n° 4	200

Si le ton n'est pas tout à fait assez bleu, on ajoute un peu de bleu n° 4 après essais.

Gris n° 2. — On fait fondre :

Fondant n° 6	88
Carbonate de cobalt	8
Oxyde de fer jaune	4.

On fond à une faible chaleur; on retire avec les pinces.

Gris n° 3. — On mélange sur la glace :

Jaune n° 4.	600
Rouge n° 6	400
Rouge n° 7	400
Fondant n° 2	660
Jaune n° 2	40
Bleu n° 2	450

Gris n° 4. — On mélange les proportions indiquées ci-dessus pour le gris n° 1, avec la précaution de remplacer le rouge n° 6 par le rouge n° 1.

Gris n° 5. — On mélange les quatre substances qui suivent :

Jaune n° 4	400
Fondant n° 6	700
Gris n° 2	700
Bleu n° 2	300

Il faut ajouter aux recettes indiquées, comme pouvant fournir du gris, le platine métallique. J'ai appelé depuis quelques années l'attention des chimistes sur l'emploi de ce corps, que son infusibilité, son inaltérabilité sous l'influence de la plupart des agents chimiques, même à une température élevée, aurait dû déjà recommander. Lorsque l'on mélange au platine en poudre 4 fois son poids de fondant n° 2, on obtient un gris d'un ton fin, des meilleures qualités pour la peinture sur porcelaine, et dont il est facile de comprendre la supériorité sur les autres gris employés jusqu'à ce jour.

Toutes les fois que des oxydes de fer et de cobalt, ou de cobalt, de fer, de manganèse ou de cuivre, se trouvent en présence, en quantité notable, en contact avec une matière siliceuse capable de se fondre à la température à laquelle on l'expose, la couleur du composé multiple qui résulte de la fusion est noire, que l'oxyde de cobalt soit à l'état bleu ou non, que le fer soit rouge ou brun dans le mélange primitif. Cette proposition est vraie, même pour les températures élevées des fours à cristaux, comme pour celles plus élevées encore des fours de verrerie.

C'est sur ces réactions, connues de tous les chimistes,

qu'est fondée la préparation des gris et des noirs généralement employés pour peindre les porcelaines dures et tendres, les cristaux, les verres, etc. On en varie la nuance et l'intensité en variant les proportions respectives des oxydes de cobalt, de fer, de zinc, et en augmentant la proportion du fondant dit au gris dont j'ai donné la composition plus haut, pour atténuer le ton et la couleur, pour obtenir des gris de plus en plus clairs.

Or, les bleus se font avec des oxydes du cobalt et de zinc, et ces couleurs sont d'autant plus vives, que les oxydes employés renferment moins d'oxyde de fer ou de manganèse.

Les rouges sont fournis par l'oxyde de fer, les ocres par l'oxyde de fer et l'oxyde de zinc, et ces nuances sont d'autant plus pures, que les oxydes de fer et de zinc sont eux-mêmes plus dépouillés d'oxydes étrangers, comme ceux de cuivre et de manganèse.

Il est donc bien évident que lorsque l'artiste veut rompre du bleu, du rouge ou de l'ocre, et qu'il y mêle le gris ou le noir que met à sa disposition la palette actuelle, il fait un mélange, dans des proportions qu'il ignore, d'oxyde de fer, de cobalt et de zinc, dont le couleur est noire, et dont il ne peut prévoir ni l'intensité ni le nuance qu'avec une très-grande habitude; et d'ailleurs, comme le ton après la cuisson n'est nullement celui qu'il applique sur sa peinture, puisque le ton bleuâtre et le ton rouge sont altérés et peuvent même disparaître entièrement, il ne peut donner à sa peinture crue l'aspect qu'elle prendra quand le vernis sera développé par le feu. Il faut que le peintre travaille au jugé, qu'il mette son œuvre en harmonie en voyant sa peinture, non comme elle est réellement, mais telle que le cuisson doit la faire apparaître.

C'est là un inconvénient, un inconvénient fort grave, surtout dans le peinture des figures, dans la reproduction sur porcelaine des tableaux des grands maîtres, où il importe d'arriver à la perfection.

Le gris de platine n'offre aucun de ces inconvénients; comme il ne renferme pas d'oxyde de cobalt, il peut très-bien servir à rompre les rouges et les ocres sans qu'on ait à craindre qu'il communique aux ombres, par l'effet de la cuisson, une trop grande vigueur. Comme il ne contient pas d'oxyde de fer, on ne doit pas craindre qu'en le mélangeant avec les bleus, il les fasse noircir au delà de ce qu'on veut obtenir; il n'entre dans le mélange que pour le ton qui lui est propre, et qu'il conserve avant comme après la cuisson.

Considérée sous le rapport de sa fabrication, cette couleur est facile à faire et à reproduire toujours identique comme nuance et comme composition. On prépare facilement le platine en poudre; il suffit de précipiter une solution de chlorure de platine par du sel ammoniac en excès, et de chauffer jusqu'à évaporation complète de ce dernier sel : on obtient ainsi le platine sous forme d'une poudre grise, qu'on peut mêler immédiatement au fondant dans la proportion indiquée plus haut, et qui se laisse facilement broyer.

Le platine n'est pas le seul métal qui, employé dans ce sens, fournirait une couleur utile.

Tous les métaux qui l'accompagnent ordinairement dans sa mine pourraient, comme lui, réduits en mousse, servir au même usage et avec le même supériorité sur les gris composés de cobalt et de fer.

J'ai, dans ce but, essayé le palladium et le ruthénium. Le palladium donne un gris pâle; le ruthenium, un gris plus roux que celui de platine.

Depuis longtemps déjà, M. Frick avait indiqué l'usage du sesquioxyde d'iridium comme pouvant fournir un noir supérieur à tous les noirs connus. M. Malaguti, à la manufacture impériale de Sèvres, a vérifié les données de M. Frick. M. L. Robert en fit plus tard une petite quantité, et moi-même, en 1845, j'avais livré pour le service de Sèvres une centaine de grammes de gris d'iridium, dont les qualités purent être mises en relief par un usage journalier.

Le gris de platine est appelé à remplacer avantageusement ce dernier. Son prix est moins élevé, sa nuance plus agréable et sa préparation moins difficile.

Il est aussi beaucoup plus répandu, et, depuis dix ans environ qu'on s'en sert, l'expérience a pu faire prononcer sur sa véritable valeur. Aussi est-il entré définitivement dans la palette de la manufacture de Sèvres.

Noirs. — On les obtient par le mélange des oxydes de fer de cobalt, seuls ou combinés, aux oxydes de manganèse, de zinc ou de cuivre.

Noir n° 1. — On mélange les dissolutions provenant de l'attaque par l'acide chlorhydrique de 400 grammes fer et 400 grammes cobalt oxydé. On précipite par le carbonate de soude, on lave longtemps; quand tout a bruni, on fait sécher, on pulvérise, puis on calcine dans un têt à rôtir avec deux fois son poids de sel. On lave à l'eau bouillante et on sèche; on calcine à un fort feu, on prend l'oxyde noir ainsi préparé, on y ajoute :

Fondant n° 6.	400
Fondant n° 2.	400
Oxyde à noir.	250
Bleu n° 2.	50

Noir n° 2. — On mélange un oxyde fait comme plus haut en prenant 400 grammes fer métallique et 200 grammes oxyde de cobalt, savoir :

Fondant n° 6.	500
Oxyde à noir.	100

Bleus. — Pour faire les bleus, je fais d'abord une fonte, dans laquelle je développe le teinte de l'oxyde de cobalt. Pour les bleus rappelant le teinte de l'indigo, le silicate de cobalt est avivé par l'oxyde de manganèse; pour les autres bleus, sa nuance est azurée par l'oxyde de zinc.

Bleu n° 1. — On fait une fonte que nous appellerons A :

Sable	50
Minium.	50
Carbonate de soude sec.	12
Carbonate de potasse sec.	15
Oxyde noir de cobalt.	6
Carbonate de manganèse.	4
Nitrate de potasse.	6

On fond tant qu'il y a bouillonnement, on coule et on mêle :

Fonte A.	100
Bleu n° 2.	500

On mélange au mortier sans refondre.

Bleu n° 2. — On mélange et on fond :

Fleurs de zinc	40
Carbonate de cobalt.	20
Fondant n° 1.	100

Nous appellerons cette fonte B.

On fait le mélange suivant :

Fonte B.	200
Fondant n° 1.	100

On triture sans fondre.

Bleu n° 3. — On mélange au mortier :

Fonte B.	200
Fondant n° 1.	200

On triture sans fondre.

Bleu n° 4. — On mélange au mortier :

Fonte B.	400
Fondant n° 1.	600

On triture sans fondre.

Bleu n° 5. — On mélange sans fondre :

Fonte B.	100
Fondant n° 1.	1000

On triture sans fondre.

Jaunes. — On se sert, pour les jaunes, d'oxyde d'antimoine, qu'on allie aux oxydes de fer en de zinc. On fait un jaune très-foncé par l'oxyde d'urane.

Jaune n° 1.

Oxyde jaune d'urane.	100
Fondant n° 6.	300

On triture sans fondre.

Jaune n° 2. — On fond à un feu modéré :

Minium.	400
Acide borique cristallisé	90
Sable.	120
Antimoine diaphorétique.	120
Oxyde rouge de fer.	30

Jaune n° 3. — On mélange et on fait fondre :

Minium.	420
Acide borique cristallisé	90
Sable.	120
Antimoine diaphorétique.	120
Fleurs de zinc.	30

On fend légèrement et l'on retire avec les pinces comme pour le jaune n° 2.

Jaune n° 4. — On fond à l'état de verre bouteille l'un des deux mélanges suivants :

	a	b
Fondant n° 2.	880	840
Fleurs de zinc.	35	40
Oxyde de fer hydraté jaune.	70	80
Antimoine diaphorétique.	15	40

On pile après avoir coulé le verre bien liquide. Ces jaunes se mêlent aux rouges.

Couleurs d'or. — Ces couleurs sont obtenues par le pourpre de Cassius; on connaît le carmin, le pourpre et le violet

Carmin n° 1. — Il faut, pour faire cette couleur, broyer sur une glace du pourpre de Cassius humide, un peu de chlorure d'argent et des fondants, environ trois fois le volume du précipité d'or. On fait l'essai du mélange qu'on corrige par tâtonnements. Quelques nouvelles expériences m'ont démontré qu'on approchait très-près d'une bonne composition en pesant :

Or à l'état de pourpre	5,00
Argent à l'état de chlorure	1,70
Fondant de carmin	250,00

Carmin n° 2. — Cette couleur est le carmin tendre anglais; on l'obtient avec le pourpre de Cassius et le fondant de carmin modifié, contenant :

Sable.	40
Borax.	30
Minium.	30

On ajoute 400 grammes de fondant pour les quantités d'or et d'argent indiquées ci-dessus.

Pourpre n° 1. — On mélange au mortier parties égales de carmin n° 1 et de pourpra n° 2, savoir :

Carmin n° 1.	100
Pourpre n° 2.	100

On triture sans fondre.

Pourpre n° 2. — On suit les indications précises données plus haut pour faire le carmin, mais on se sert du fondant indiqué sous le n° 4. Il faut un peu de chlorure d'argent. Pour éviter les tâtonnements, on prend :

Or à l'état de pourpre.	5,00
Argent à l'état de chlorure.	1,25
Fondant de pourpre	200,00

Violet n° 1. — On fait encore un mélange sur la glace de pourpre de Cassius et de fondant environ volumes égaux. En opérant avec des poids déterminés d'or et de fondant, on triture sur la glace :

Or à l'état de pourpre	5,00
Fondant de violet	150,00

On remplace le fondant de pourpre par celui donné sous le n° 5 dans la série des fondants. On n'ajoute ni bleu ni chlorure d'argent. On essaye la couleur humide.

Outremer. — L'alumine donne avec l'oxyde de cobalt un bleu semblable au bleu Thénard, qui devient la base de ces belles couleurs.

Outremer n° 1. — On prépare un oxyde outremer en faisant dissoudre dans l'acide azotique :

Hydrate d'alumine	30
Carbonate d'oxyde de cobalt.	10

On évapore à sec, on triture, puis on calcine.

La trituration ne doit pas amener à l'état de poudre le mélange d'alumine et d'oxyde de cobalt desséché : il doit rester granulé. La couleur de l'oxyde doit être d'un beau bleu bien vif, sans trace de gris verdâtre.

On mélange au mortier :

Oxyde outremer.	100
Fondant n° 6.	250

On triture sans fondre.

Outremer n° 2. — On mélange sans fondre :

Oxyde outremer	100
Fondant n° 6.	350

Ocres. — Les ocres conservent leur ton particulier par suite de la présence de l'oxyde de zinc, qui semble remplacer l'eau de combinaison dans l'hydrate de peroxyde de fer.

Pour préparer les ocres, quel que soit leur ton, on prépare d'abord des oxydes en suivant exactement la marche que j'ai indiquée plus haut pour la préparation des oxydes propres à faire les noirs n°s 1 et 2. J'abrége d'autant cette description en renvoyant aux détails déjà donnés.

J'indique seulement ici, pour chacun de ces ocres, les oxydes et métaux qu'on mélange pour obtenir l'oxyde colorant qui doit être rougi et passé au sel, puis lavé et séché; j'indique ensuite les proportions dans lesquelles il faut mêler l'oxyde à son fondant.

Ocre n° 1. — On prépare l'oxyde en faisant dissoudre dans l'acide chlorhydrique :

Fer métallique.	300
Zinc métallique.	300
Oxyde de nickel	20

On prend ensuite :

Oxyde à ocre n° 1	400
Fondant n° 2	300

Ocre n° 2. — On prépare l'oxyde avec :

Fer métallique	300
Zinc métallique	300
Oxyde de nickel	10

On preud ensuite :

Oxyde à ocre n° 2	400
Fondant n° 2	300

Ocre n° 3. — On prépare l'oxyde avec :

Fer métallique	300
Zinc métallique	300

On prend ensuite l'oxyde et le fondant n° 2.

Oxyde à ocre n° 3	400
Fondant n° 2	300

On triture sans fondre.

Ocre n° 4. — On triture sans fondre :

Oxyde à ocre n° 2	400
Fondant n° 2	400

Ocre n° 5. — On prépare l'oxyde avec :

Fer métallique	200
Zinc métallique	300

On prend ensuite pour les triturer sans fondre :

Oxyde à ocre n° 5	400
Fondant n° 2	400

Ocre n° 6. — On triture sans fondre :

Oxyde à ocre n° 5	400
Fondant n° 2	600

Rouges. — L'oxyde de fer qui sert à faire les rouges, quel que soit leur ton, provient de la couperose qu'on fait sécher et qu'on calcine à des feux d'autant plus élevés, qu'on veut préparer des rouges violacés. Les nitrates de peroxyde de fer conduisent de même à des nuances fort brillantes.

Les couleurs rouges, tirées du fer, ont principalement attiré mon attention, et j'ai cherché, par l'analyse, à déterminer leur composition : j'ai constaté que le rouge orangé est rendu plus fixe et plus vif par une addition à l'oxyde de fer ou d'oxyde de zinc ou d'alumine, et que les violets de fer doivent leur intensité et leur nuance bleuâtre à l'introduction d'une petite quantité d'oxyde de manganèse. J'ai cherché pourquoi deux rouges différaient d'éclat, la pureté chimique étant la même. Je crois qu'on acceptera l'explication telle que je l'ai proposée : elle s'applique de même aux autres couleurs.

La différence de nuance qu'acquiert l'oxyde de fer par dépend de la température à laquelle on l'a porté. Toutes les nuances ne se maintiennent pas à la même hauteur; plus la température est élevée, plus le ton est vigoureux; on sait que toutes les couleurs que prend l'oxyde de fer varient de l'orangé au violet, c'est-à-dire qu'elles peuvent se décomposer en jaune rouge et bleu, couleurs simples qui donnent du gris plus ou moins foncé, suivant l'intensité des trois couleurs élémentaires. Plus la température est basse, plus il reste de jaune; plus elle est élevée, plus il s'ajoute de bleu.

Il me paraît évident, d'après cela, que la couleur sera d'autant plus pure que l'oxyde qui la produit sera formé de molécules identiques par la modification qu'elles auront reçue d'une même température. La nuance sera donc d'une pureté parfaite si toutes les molécules ont reçu la température nécessaire pour la développer, si aucune n'a reçu un coup de feu capable de la modifier, ou trop faible, qui laisserait du jaune, ou trop violent, qui augmenterait le dose du bleu.

Le tour de main doit donc consister à ne composer le couleur que de particules d'oxyde ayant subi la même température. On parvient à ce résultat en n'opérant à la fois que sur de petites quantités et en agitant constamment la masse. On arrête le feu quand la température a été maintenue pendant un temps suffisant; on essaye toutes les préparations successives, et on ne réunit que celles qui, au point de vue de la nuance, offrent un résultat identique, celles qui affectent la vue de la même manière; et c'est ici qu'un œil bien exercé, bien sensible, est de première nécessité; c'est ici que des études artistiques, même sérieuses, deviennent le complément indispensable de la science du chimiste.

Pour faire les rouges, on opère comme on vient de le dire. La nuance varie, en raison du coup de feu que l'oxyde a reçu, du rouge capucine au rouge violâtre.

On obtient ainsi des rouges n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8, en les mélangeant dans les proportions suivantes :

On triture sans fondre :

Oxyde de fer, de nuance voulue	400
Fondant n° 2	400
Fondant n° 6	300

Pour faire les rouges tendres, on triture encore sans fondre :

Oxyde de fer, de nuance voulue	400
Fondant n° 4	400
Fondant n° 6	800

On distingue ainsi des rouges orangé, sanguin, chair, carminé, laqueux, violâtre, violâtre-foncé, durs ou tendres, suivant la dose de fondant qu'on ajoute à l'oxyde.

Bruns. — Les bruns, comme les ocres, sont formés par le mélange d'un fondant et d'un oxyde; cet oxyde se prépare comme les oxydes noirs et comme les oxydes pour les ocres. Je crois pouvoir me borner à donner les dosages qu'il faut employer.

Brun n° 1. — On fait dissoudre, précipiter, etc. :

Fer métallique	400
Zinc métallique	400
Oxyde de cobalt	400

On triture ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 1	400
Fondant n° 2	300

Brun n° 2. — On fait dissoudre, précipiter, etc. :

Fer métallique	400
Zinc métallique	400
Oxyde de cobalt	400

On tritere ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 2	400
Fondant n° 2	300

Brun n° 3. — On fait dissoudre, précipiter, etc. :

Fer métallique	400
Zinc métallique	400
Oxyde de cobalt	50

On trituro ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 3	100
Fondant n° 2	300

Brun n° 4. — On prépare un oxyde très-convenable en faisant dissoudre et précipitant :

Fer métallique.	100
Zinc métallique	100
Oxyde de cobalt.	25

On triture ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 4.	100
Fondant n° 2	300

Verts. — On fait les verts en mélangeant à du fondant des oxydes verts de diverses nuances qui ont pour base l'oxyde de chrome modifié dans sa teinte par sa combinaison avec d'autres oxydes métalliques.

Je donnerai d'abord pour les verts la préparation de l'oxyde. L'oxyde fait est ensuite mêlé, soit aux fondants, soit aux autres couleurs qui doivent en modifier la teinte. On suppose dans tout ce qui va suivre que l'oxyde de chrome a été préparé préalablement par la déflagration du bichromate de potasse avec la moitié de son poids de fleur de soufre.

Vert n° 1. — On prépare l'oxyde à vert n° 1 en triturant longtemps à l'eau sur une glace, savoir :

Oxyde de chrome vert.	200
Oxyde de cobalt carbonaté.	100
Alumine hydratée.	200

On fait calciner à un fort feu, puis on lave; on fait sécher et on ajoute à l'oxyde ainsi préparé les fondants dans les proportions suivantes :

Oxyde à vert n° 1.	100
Fondant n° 1.	150
Fondant n° 6	150

Vert n° 2. — On mélange ensemble du vert n° 1 et du jaune n° 3, savoir :

Vert n° 1	600
Jaune n° 3	400

On peut varier ces doses suivant le ton plus ou moins jaune qu'on désire obtenir :

Vert n° 3. — On fait un oxyde composé de :

Oxyde de chrome	200
Oxyde de cobalt carbonaté.	100

On le calcine fortement; on le lave et on le fait sécher. On fond ensuite le mélange suivant qu'on retire du creuset avec les pinces :

Oxyde à vert n° 3	75
Jaune n° 2 tout fait.	100
Fondant n° 6	300
Fondant rocaille.	50

Vert n° 4. — On fait d'abord un oxyde vert foncé en calcinant à un fort feu, lavant et séchant le mélange fait sur la glace :

Oxyde de chrome vert.	240
Hydrate d'alumine.	80
Oxyde de cobalt noir.	20
Oxyde de fer jaune	10

On mêle la substance verte ainsi obtenue :

Oxyde à vert n° 4.	100
Fondant n° 6	300

Vert n° 5. — On fait, comme plus haut, un oxyde à vert composé de :

Oxyde de chrome vert.	300
Alumine hydratée	100

On calcine, après avoir broyé sur la glace, à un fort feu, on mêle alors avec soin le mélange suivant :

Oxyde à vert n° 5.	100
Fondant n° 6	300
Jaune n° 3.	50

On triture, mais on ne fond pas.

Vert n° 6. — On mélange au mortier les proportions suivantes :

Vert n° 4	100
Jaune n° 2	50
Brun n° 3.	100
Vert n° 1	50

On ne fond pas.

Vert n° 7. — On prépare d'abord un oxyde vert foncé en mélangeant et broyant sur la glace :

Oxyde de cobalt noir.	100
Oxyde de chrome	100

calcinant à un fort feu et lavant.

On mêle ensuite cet oxyde, dans les proportions suivantes, avec le fondant :

Oxyde à vert n° 7.	100
Fondant n° 6	300

On ne fond pas.

Vert n° 8. — On prépare, comme pour les autres verts, un oxyde en calcinant un mélange intime de :

Oxyde de chrome	200
Oxyde de cobalt noir.	100
Oxyde de fer jaune	50

On lave après calcination, puis on mêle :

Oxyde à vert n° 8	100
Fondant n° 6	300

Ces divers exemples font comprendre toute l'économie de la fabrication.

Pour les couleurs de porcelaine tendre, les jaunes et certains verts sont appropriés et donneraient de suite de bons résultats. Les bleus sont également convenables; mais les rouges et les bruns doivent être rendus beaucoup moins fusibles, encore les rouges ne résistent-ils, même considérablement durcis, qu'à la condition d'être cuits à des températures très-basses.

La peinture sur faïence, telle qu'elle était pratiquée dans les premiers temps, exige des couleurs de composition toute spéciale. On en comprendra facilement la raison, si l'on se rappelle que ces peintures étaient appliquées sur l'émail cru. L'influence de la haute température à laquelle les couleurs étaient exposées, et les réactions qui se passaient, en présence des produits de la combustion, entre l'élément vitreux et l'oxyde, ont conduit à des dosages particuliers sur lesquels nous croyons utile d'insister ici.

Fondant n° 1 :

Le fondant est un simple verre imparfait obtenu par la fusion de sable et de soude ; on prend :

Carbonate de soude.	100
Sable d'Étampes	200

Blancs n° 2. — On fait fritter :

Minium.	80
Calcine à 3 d'étain pour 9 de plomb	35
Silice (sable de Fontainebleau)	100
Chlorure de sodium	35
Fondant n° 1	70

Noir n° 3. — On fait fondre :

Fondant n° 1.	160
Oxyde de fer.	200
Oxyde de cobalt	100
Oxyde de manganèse.	100

Bleus n° 4 :	Clair.	Foncé.
Fondant.	100	»
Oxyde de cobalt.	20	30
Oxyde de zinc.	20	»
Émail blanc n° 2.	»	160

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Verts n° 5. — On mélange :

Oxyde de cuivre.	80
Blanc n° 2.	100

Jaunes n° 6. — Les jaunes se font en composant des bases jaunes *a*, *b*, *c*, analogues aux jaunes de Naples qu'on mêle ensuite avec les fondants transparents ou opaques.

	Jaune clair. *a*	Jaune. *b*	Jaune d'or. *c*
Antimoniate de potasse.	60	60	60
Minium.	90	60	90
Carbonate de soude. . .	10	15	»
Oxyde de fer hydraté. .	»	12	56

On mélange ensuite pour avoir :

	Jaune pâle.	Jaune.	Jaune foncé.
Fondant n° 1.	»	100	100
Email n° 2.	100	»	»
Jaune *a*	100	»	»
Jaune *b*	»	100	»
Jaune *c*	»	»	125

Bruns n° 7. — On ombre les couleurs qui précèdent en composant sur la palette des mélanges de jaune de Naples *b* et de bleu foncé, savoir : dans les proportions variables de 1, 2, 3, 4 parties de jaune pour 1 de bleu. On fait encore de bons bruns par la même méthode en broyant sur la glace des mélanges de 1, 2, 3 parties de jaune *b* pour 1 partie de noir n° 3.

Lorsque la couleur est préparée, qu'elle a été reconnue de bonne qualité par deux ou trois essais faits dans des moufles isolés et dans différentes conditions d'épaisseur, de durée de feu, d'intensité de chaleur, il faut la mettre en état d'être employée. On commence par la broyer, qu'elle soit pour porcelaine dure, ou pour porcelaine tendre, ou pour faïence.

Trituration des couleurs. — La couleur ne peut être appliquée qu'à l'état de poudre impalpable. On commence par la diviser dans des mortiers en biscuit de porcelaine, qu'il est convenable de tenir très-propres et de réserver toujours, autant que possible, pour la même couleur. On concasse la matière avec un pilon qu'on recouvre d'une toile pour arrêter les éclats qui se trouveraient disséminés et perdus. On passe au tamis les poussières qu'on met de côté. On reprend les parties qui sont restées sur le tamis, et qu'on nomme monchettes par corruption de mouchetures.

Les mortiers pourraient être faits soit en cristal, soit en verre ; mais ils sont trop peu résistants ; cependant ils offrent l'avantage de ne pas beaucoup altérer la couleur.

Les diverses parties qui composent ces moulins sont équivalentes à celles des *tournants*, au moyen desquels on broie les éléments des pâtes. Une cuvette reçoit la matière à broyer en même temps qu'elle forme le fond sur lequel la matière devra s'écraser, par suite du frottement de la meule. Le fond de la cuvette est relevé vers le centre, de telle sorte qu'il forme une rigole annulaire dans laquelle s'accumule la matière à broyer et qui reçoit la meule elle-même également annulaire ou plutôt de la forme d'un cylindre creux renflé par le bas. Une double échancrure opère une sorte de remou qui force toutes les molécules à se présenter successivement sous l'action de la meule.

La partie supérieure porte deux trous dans lesquels s'engagent les tenons d'un plateau de bois qu'on peut surcharger de plomb et qui porte un bouton de manivelle par lequel on peut faire tourner la meule intérieure. Quelque durs que soient ces moulins, ils s'usent toujours ; aussi a-t-on pris une disposition particulière qui permet de retourner la meule lorsqu'elle est usée et d'en doubler la durée. Il suffit de retourner la meule pour remplacer la partie hors de service.

Les moulins peuvent être montés sur une table isolément ou réunis par douzaine sur un même palier. On les fait alors mouvoir mécaniquement en remplaçant la manivelle par des pignons engrenant avec des roues qui reçoivent leur mouvement d'un mécanisme commun. On broie de la sorte actuellement à Sèvres toutes les couleurs employées dans le service des terres cuites vernissées. Quelque soin qu'on mette à broyer les couleurs au moulin, on ne peut, par ce moyen, lorsqu'elles sont destinées aux peintures sur porcelaine dure ou tendre, arriver au broyage parfait, indispensable pour faire un travail soigné. On termine le broyage sur une glace au moyen de la molette.

Les glaces dont on se sert doivent satisfaire aux mêmes conditions que les moulins eux-mêmes. On les choisit en verre à glace ; elles sont bien dressées, ordinairement carrées et d'assez grande épaisseur ; il faut les choisir dépourvues de bulles, et apporter le plus grand soin à leur nettoyage ; on les met en état de servir au broyage d'une couleur nouvelle en les employant au broyage de sable ou de feldspath déjà très-pulvérisé.

On se sert, pour pulvériser sur la glace, de molettes en verre dur ou en porcelaine ; les plus dures sont évidemment les meilleures. On rejette les molettes de cristal qui s'usent trop facilement ; il est certain, par exemple, que le carmin est altéré par le broyage lorsqu'on pratique cette opération avec les molettes en cristal plombifère. On se sert de couteaux pour relever sur la glace la couleur broyée, soit afin de la ramener au centre de la glace pour continuer le broyage, soit afin de la mettre en réserve, lorsque la porphyrisation est complète. Ces couteaux sont en corne, en acier, en ivoire ; ils ont leurs inconvénients et leurs avantages. Il faut en général être très-sobre de leur emploi et n'en faire usage que lorsqu'on ne peut agir autrement. On ramène au centre de la glace la couleur à broyer au moyen de la molette elle-même. Les couteaux d'acier s'usent assez promptement ; ils introduisent du fer dans les couleurs qui n'en doivent pas contenir ; les couteaux de corne et d'ivoire doivent alors être préférés ; cependant on trouve aux couteaux de corne et d'ivoire des inconvénients ; ils laissent un résidu de phosphate de chaux qui, s'il est en quantité sensible, s'oppose au brillant de la peinture.

Lorsque les couleurs ont été broyées à l'eau d'abord, à l'essence ensuite, on les applique au moyen de pinceaux, quelquefois aussi sur glaçure au moyen des méthodes rapides de l'impression indiquées déjà pour le décor sous glaçure (couverte ou vernis).

Les différentes couleurs doivent être appliquées au moyen de véhicules qui disparaissent pendant la cuisson. L'eau, dont l'usage est impossible lorsque la matière est naturellement huileuse comme dans le cas des lustres, serait évidemment le véhicule le plus convenable, car elle disparait par une simple exposition à l'air ; mais les couleurs ne sont pas suffisamment fixées pour que les retouches soient faciles ; on se sert de préférence d'essence de térébenthine ou d'essence de lavande. Comme ces essences sont elles-mêmes très-volatiles, on les rend visqueuses en les additionnant des essences graissées par une exposition prolongée au contact de l'air.

On pose les fonds avec les essences de lavande qui restent plus fluides et s'évaporent moins promptement. On peint avec la térébenthine ; on peut enlever des parties peintes et faire des réserves, soit en grattant, soit en délayant la couleur déjà posée.

Le grattage est une opération mécanique ; le délayage est une opération chimique. On peut faire usage d'une dissolution alcaline, et mieux encore d'huile de lin qui détrempe les résines par lesquelles la couleur est fixée. On colore généralement cette huile par de la cochenille ou du carmin. Les réserves peuvent encore se faire en appliquant le fond sur des matières gommées, carbo-

mote ou sulfate de baryte, placées au putois ou bien au pinceau, sur la partie qu'il faut réserver, et qui tombent d'elles-mêmes par une cuisson convenable. Ces divers moyens sont plus expéditifs que le grattage ordinaire.

On vient de faire récemment une application très-heureuse de la chromolithographie au décor de la porcelaine. Nous ne craignons pas de donner inutilement à cet article une longueur démesurée par l'indication des procédés spéciaux qui ont rendu possible sur poterie l'application de l'impression en couleur. Ces procédés sont à la veille de prendre une extension remarquable. Nous les donnons avec leurs derniers perfectionnements, d'après les brevets de MM. Darte, Chanon, Macé, Mangin, etc.

On choisit un papier collé assez résistant pour ne pas s'étendre inégalement pendant le travail, ce qui rendrait impossible toute exactitude dans les reports. On étend sur ce papier, au moyen d'une éponge, un mucilage composé de jus d'ail cuit dans l'eau auquel on ajoute son poids de tapioka, d'amidon ou de fécule de pomme de terre. Ce mucilage dont on a fait une bouillie claire est passé dans un linge et conservé dans des bouteilles : il communique au papier la propriété de pouvoir se conserver convenablement pour l'impression pendant plusieurs années. Les feuilles de papier sont séchées complétement par l'exposition à la chaleur de l'atelier, suspendues sur des ficelles. Lorsque le papier est sec, on le fait satiner pour resserrer le grain et rendre l'impression plus nette.

L'impression se fait au moyen de pierres lithographiques, combinées de telle sorte qu'elles rapportent successivement sur la même feuille, au moyen de repères, une couleur juxtaposée ou superposée à celle ou celles déjà placées de façon à imiter le travail à la main, qui procède toujours par juxtaposition ou superposition.

L'encrage de la pierre se fait au moyen du rouleau de l'imprimeur lithographe. Chaque imprimeur a son vernis particulier, et le travail est imité de l'impression ordinaire en papier. On se sert de mélanges de vernis fort lithographique, de vernis copal et de suif de mouton, le tout parfaitement mélangé. On peut se servir simplement d'essence grasse de térébenthine.

Lorsque les épreuves ont été tirées au vernis, on procède au saupoudrage de l'épreuve. Cette opération se fait sur le papier, et cette innovation est très-importante ; elle a permis de supprimer le contact de la couleur avec la pierre, par conséquent d'en augmenter la durée ; elle a permis en outre l'application de l'impression polychrome, qui n'était pas possible lorsqu'on saupoudrait la pièce ou lorsqu'on tirait directement sur papier, en reportant sur la pièce à surfaces courbes chaque tirage successif.

Pour saupoudrer, on étend sur le papier imprimé, mais encore frais, la couleur en poudre sèche, soit avec la main, soit avec un blaireau, soit avec un morceau de ouate.

Cette même marche est suivie autant de fois qu'on a de pierres qui doivent concourir à la reproduction du sujet ; mais avant de procéder au tirage suivant, on doit laisser l'épreuve se sécher ; on la passe sous le râteau de la presse pour faire contracter une adhérence suffisante à l'épreuve déjà fixée ; le temps de la dessiccation est variable avec la nature de l'encrage dont on a fait usage.

Que les couleurs apportées par chaque pierre soient superposées ou juxtaposées, le rapport doit en être fait avec soin, exactitude, habileté. Le saupoudrage de la couleur sur le papier, c'est-à-dire sur l'épreuve elle-même, surface unie, régulière, a rendu possible sur poterie la reproduction chromolithographique. Pour l'obtenir, on procède de diverses manières équivalentes, soit

en piquant le papier avec une aiguille sans pointe et repérant l'épreuve avec de petits trous réservés dans la pierre, soit en découpant des échancrures qu'on rapporte sur des traits en croix tracés sur la pierre.

On pratique ce travail aujourd'hui d'une manière courante, industrielle, pour la reproduction de sujets peints qui n'exigent pas moins de douze tirages successifs. Le nombre des pierres qui forment un dessin donné est variable avec la couleur du sujet et le degré de perfection qu'on veut atteindre ; quatre ou cinq planches suffiraient pour des fleurs détachées. Trois conduiraient à des ornements dans le genre de Pompéi. Deux planches permettraient de reproduire des sujets étrusques.

On conçoit que, pour terminer le travail, il faille transporter l'épreuve du papier sur la poterie ; il est évident qu'un seul transport suffit. L'avantage de la préparation du papier telle que nous l'avons donnée réside dans la propriété qu'acquièrent les épreuves tirées économiquement de pouvoir être conservées longtemps et transportées plus tard suivant les besoins. Là se trouve tout l'avenir de la chromolithographie sur porcelaine. Les lithographes ordinaires pourront vendre les épreuves tirées, sur papiers préparés, en couleurs vitrifiables, et les décorateurs de porcelaine achèteront ces épreuves pour les transporter, affranchis de l'embarras de la presse, qu'ils ne peuvent employer avec autant d'économie que les imprimeurs eux-mêmes.

Quoi qu'il en advienne, ce transport ne peut être fait qu'autant qu'une substance adhésive existe sur la pièce ou le dessin. On a donné, dès l'origine de l'application des moyens mécaniques à la décoration des poteries, le nom de mixtionnage ou mixtion à ces compositions adhésives qu'on appliquait d'abord sur la pièce et qu'on adapte avec avantage sur l'épreuve elle-même. On peut mixtionner à la fois la pièce et l'épreuve.

L'application de la mixtion se fait, soit à l'aide du pinceau qu'on nomme *queue de morue* ; quand on la pratique sur l'épreuve, il y a tout avantage à l'obtenir au moyen même de l'impression, et c'est alors qu'on fait usage d'une pierre dite de *silhouette*. On nomme ainsi dans les ateliers une pierre qui permet de coucher sur toute la surface du dessin un aplat uniforme, en réservant toutes les parties qui ne font pas partie du sujet. La supériorité de ce mode d'appliquer la mixtion résulte de ce qu'elle n'est appliquée que sur les points qui doivent adhérer à la poterie, c'est-à-dire sur l'épreuve proprement dite, tandis qu'au moyen de la queue de morue la mixtion est couchée même sur des parties qu'il faudrait réserver et qui prennent, au moment du décalcage des maculatures qu'on n'enlève avant la cuisson qu'avec beaucoup de soins et de temps.

La nature du mixtionnage est variable : tantôt on se sert d'essence grasse de térébenthine, tantôt on emploie le mélange à parties égales de poix de Bourgogne ou blanche et de térébenthine de Venise, dissoute dans de l'essence de térébenthine ordinaire, à consistance claire ; tantôt enfin, le vernis copal étendu d'essence de térébenthine maigre sert de mixtion.

On peut, lorsqu'on fait usage de la pierre de silhouette, pour coucher le mixtionnage, ajouter à la mixtion une certaine quantité de fondant, en assez faible proportion toutefois pour ne pas enlever au mélange sa propriété d'être poissant. Ce fondant, en contact immédiat avec la porcelaine, ajoute à la fusibilité des couleurs qui lui sont superposées par le fait du décalcage.

Lorsque le mixtionnage est terminé, soit sur la pièce, soit sur l'épreuve, soit sur les deux objets, l'épreuve est appliquée sur la poterie. A cet effet, elle est mise en contact avec une étoffe humide qui détrempe légèrement le papier sur l'envers de l'impression, puis elle est comprimée par le frottement de la roulette ou la paume de

la main sur les points qu'on veut faire adhérer. Il suffit, pour faire partir le papier, de plonger les pièces dans l'eau. L'épreuve parfaitement décalquée apparaît sur la porcelaine. On lave à grande eau, sans trop frotter; on égoutte, on sèche, et on cuit dans les moufles comme à l'ordinaire.

Les pièces décorées, chargées de peintures sont portées dans des fourneaux de forme particulière, nommés *moufles*; c'est là que, soumises à la température convenable, les couleurs se fondent et prennent de l'adhérence avec les poteries sur la surface desquelles elles ont été déposées. Ces moufles sont analogues aux fourneaux que nous avons décrits plus haut et qui servent à la combustion des huiles employées dans l'impression sous glaçure des poteries de faïence façon anglaise. Un tuyau d'appel réservé dans le milieu de la voûte du moufle donne issue pendant la cuisson aux produits de la combustion des essences grasses et maigres qui ont servi de véhicules et de matières fixatives; il est important de les brûler facilement. La porte du moufle, porte une douille qui permet de quitter le feu; elle s'ajuste, lorsque l'enmouflement est complet, dans une feuillure réservée pour cet usage. Il est convenable, pour éviter les accidents de casse, de chauffer le moufle avant l'enmouflement. On évite les courants d'air froid, qui pourraient briser les pièces, en mettant à l'extrémité de la douille un tuyau de tôle dans lequel s'ajuste une petite trappe glissant dans une coulisse; des échancrures réservées dans la partie antérieure du tuyau laissent toute liberté pour placer la tringle à laquelle est attachée le montre.

Les moufles que nous venons de décrire sont généralement accolés, c'est la disposition des moufles en France; on les réunit sur la même ligne disposés sous la même cheminée, et les murs sont maintenus par les mêmes ferrements.

En Allemagne, cette disposition n'est pas adoptée partout, et souvent les foyers sont latéraux.

On nomme montres, à Sèvres, de petites plaques de porcelaine, sur lesquelles on a couché de l'or et du carmin; l'or indiquera, s'il commence à prendre de l'adhérence, que l'on approche de la température à laquelle la peinture serait trop cuite, et le carmin donne une échelle thermométrique assez exacte pour faire apprécier les diverses températures qu'il convient d'atteindre : de petites encoches servent à maintenir solidement les montres sur les tringles au moyen desquelles on les fait pénétrer dans les moufles.

Lorsque les pièces sont placées dans le moufle, on chauffe modérément d'abord pour éviter la casse des objets à cuire, s'ils sont épais; on élève ensuite la température progressivement, et l'on finit par un feu par et vif. Mais il faut être prêt à l'arrêter court pour qu'il ne dépasse pas le degré voulu par la nature des produits : cette considération a la plus grande importance lorsqu'il s'agit de peintures sur porcelaine. Pour maîtriser le feu dans le cas où la température monterait trop rapidement, on se réserve la facilité de retirer deux ou trois briques qui composent la porte; elles ont une poignée et s'engagent dans des enveaux carrés. Le feu dure un temps variable avec la dimension du moufle, comme encore avec l'épaisseur et le volume des pièces qu'il s'agit de cuire; on laisse le refroidissement s'opérer lentement; on abat le mur, on enlève la porte, mais on ne doit retirer les pièces que lorsqu'on peut y mettre la main sans éprouver une trop vive impression de chaleur; on évite ainsi l'écaillage des couleurs. On n'a pas ce danger à redouter lorsqu'il s'agit de la cuisson des dorures; lorsque les pièces démouflées doivent être terminées par l'application des dorures, on les brunit comme nous allons le voir, et, s'il faut ajouter des peintures, on les porte dans les ateliers spéciaux dans lesquels elles reçoivent la décoration qu'il faut cuire comme feu d'ébauche, et retoucher ensuite pour les cuire de nouveau une ou deux fois, suivant les circonstances et le nombre de retouches qu'on leur applique. Ces feux de retouche sont ordinairement de plus en plus faibles.

On distingue, à Sèvres, la série suivante, disposée de plus fort au plus faible :

1° Le feu d'or mat dépassant la fusion de l'argent	1000
2° Le feu de couleurs dures	950
3° Le feu de filets d'or	900
4° Le premier feu de peinture ou feu d'ébauche	800
5° Le feu de première retouche	700
6° Le feu de seconde retouche	600
7° Le feu d'or en coquille sur fonds de moufle	560

Le carmin varie de nuances avec ces mêmes feux : brun rouge sale au premier degré, il se développe petit à petit en passant par le rouge brique, le rouge pourpre, le rose violâtre, pour arriver au ton presque entièrement violacé : ces différences sont surtout perceptibles dans les minces.

MÉTAUX.

Nous avons dit quelles étaient les conditions générales auxquelles les métaux devaient satisfaire dans la décoration des poteries : ces conditions limitent à l'or, au platine, à l'argent les métaux qu'il est possible d'employer aujourd'hui. Nous rappellerons qu'ils doivent être malléables, brillants, inaltérables sous les actions simultanées de l'air et du feu.

Il faut, pour que ces métaux soient applicables, qu'on sache les amener à l'état de poudres impalpables, afin qu'on puisse les déposer sous formes de lignes ténues, représentant les objets variés que le décorateur veut apposer sur la pièce qu'il décore. Il est urgent aussi que la poudre soit d'un emploi facile, qui permette de la coucher sous forme de lame mince, lorsqu'on veut faire un fond métallique ou de larges filets.

C'est au moyen des précipités obtenus par voie chimique qu'on réussit à préparer ces métaux en poudre. Les ouvrages de chimie font connaître les principes à l'aide desquels on prépare les poudres d'argent, d'or et de platine; il suffit de les broyer ensuite pour obtenir des poussières parfaitement ténues, propres à la décoration des poteries et principalement des porcelaines; mais comme, en général, les dosages employés à la précipitation ont une certaine influence sur les propriétés physiques que présentent ces poudres, nous croyons devoir entrer, au moins pour l'or dont l'usage est de beaucoup le plus important, dans des détails plus circonstanciés.

Or métallique. — On sait qu'il y a deux méthodes pour précipiter l'or à l'état de poudre de sa dissolution dans l'eau régale : le sulfate de protoxyde de fer et le nitrate de mercure; nous renverrons le lecteur à l'article DORURE SUR PORCELAINE, publié par M. Barral, dans le 1er volume du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*. Avant d'être employé, l'or doit être broyé finement avec son fondant; il faut en ajouter pour la dorure sur toute sorte de poterie qui ne se ramollit pas au feu. C'est du nitrate de bismuth précipité par l'eau de sa dissolution dans l'acide azotique; il est blanc, légèrement jaunâtre : il faut avoir le soin d'éviter l'addition du carbonate de potasse qu'on ajoute quelquefois, et qui précipiterait les oxydes de nickel et de cuivre dont est souvent souillé le bismuth métallique; la présence de quelques millièmes de cuivre empêcherait l'or de donner un beau mat. On ajoute à l'oxyde de bismuth $\frac{1}{12}$ de borax fondu, et on mêle, suivant certaines circonstances, $\frac{1}{14}$ ou $\frac{1}{12}$ de fondant pour 1 partie d'or.

Pour dorer la porcelaine dure, c'est ce fondant qu'on emploie ; pour dorer la porcelaine tendre, on ajoute du borate de plomb préparé par voie de précipitation.

On a remarqué que l'or ne s'employait avec facilité que lorsqu'il avait séjourné quelque temps sur la glace en mélange avec les essences qui doivent en faciliter l'application ; il coule mieux et donne alors un mat beaucoup plus brillant que lorsqu'on l'applique immédiatement après le broyage. Il ne faut pas le broyer avec trop d'essence grasse, qui donne un or trop mince et comme lavé.

Pour obtenir l'or avec économie, mais en même temps avec solidité, plusieurs procédés ont été proposés ; ils rendent la dorure plus durable sans en augmenter beaucoup le prix.

M. Rousseau pose une première couche de platine mêlé de fondant qu'il recouvre d'une couche très-mince d'or métallique. Ce procédé donne une dorure solide, mais qui, à l'usage, ne conserve pas une belle teinte, la couleur de l'or étant modifiée par celle du platine que l'usure fait apparaître.

Le procédé de M. Grenon consiste dans l'application successive de deux couches d'or chacune avec un fondant particulier et dans des proportions différentes. La première couche est cuite à une température élevée ; on la polit avec du grès, puis on applique par-dessus une couche mince d'or au mercure, préparée et cuite comme à l'ordinaire. Cette dorure se brunit avec facilité et prend un bel éclat. Des expériences faites à Sèvres ont permis de constater qu'elle résistait à des frottements par des corps durs qui altèrent profondément la dorure ordinaire.

La dorure de M. Grenon emploie 0^{r},145 d'or pour une douzaine d'assiettes à filet d'une ligne de largeur ; le prix des assiettes en est augmenté de 6 fr. par douzaine.

La dorure de Paris emploie seulement 0^{gr},212 par douzaine d'assiettes ; elle est faite par l'or au mercure et se paye 4 francs. L'élévation du prix de la dorure de M. Grenon est justifiée par la grande quantité d'or employée et par les doubles frais de posage et de cuisson.

Lorsqu'on veut obtenir de l'or beau mat, il faut avoir recours au procédé sur lequel nous reviendrons plus loin, et qui donne sur la porcelaine mise en couverte, c'est-à-dire à glaçure brillante et polie, l'or brillant au sortir du moufle.

On peut encore faire usage de ce que l'on nomme l'or en coquille. Cet or n'est autre, ainsi qu'on le sait, que l'or battu, très-pur, aussi pur qu'il est possible de l'avoir, et déchiré sur une glace au moyen d'une substance soluble à l'eau bouillante, telle que le sucre, le sel ou le miel ; de là le nom d'or au miel qu'on a donné pendant longtemps à cette préparation. Le nom d'or en coquille lui vient de ce que l'usage s'est établi de le vendre dans des coquilles de moule. Le broyeur le plus exercé ne peut guère broyer plus de 60 grammes dans une journée de travail : appliqué sur porcelaine dure, cet or doit se cuire avec le plus grande précaution, généralement beaucoup au-dessous du feu de dorure ordinaire.

On a fait un très-grand usage de l'or en coquille pour la dorure de la porcelaine tendre ancienne de Sèvres. Lorsque l'or dont on se sert ne contient aucun alliage ou lorsqu'il ne renferme que quelques millièmes d'argent, on a de la dorure riche et très-éclatante.

Le délayant de l'or en coquille est souvent de l'eau miellée ou de la gomme ; le miel a deux inconvénients assez graves : il attire les mouches qui, avec leurs pattes, l'étendent partout, enlèvent la finesse des détails et font disparaître l'assurance de touche du doreur. En second lieu, il est fermentescible et les gaz qui se développent dans l'acte de fermentation soulèvent l'or et s'opposent à son adhérence avec la porcelaine.

La gomme a moins d'inconvénient, mais elle doit être employée très-fluide avec circonspection. Dans tous les cas, qu'on fasse usage de gomme ou de miel, il faut n'appliquer la dorure que sur des parties entièrement dépouillées de corps gras. L'or se lèverait par écailles et ne tiendrait nullement.

Il est préférable pour délayer l'or de faire usage du mordant du Frère Hippolyte, additionné d'un peu de gomme arabique dissoute ; on le nomme mucilage pour l'or. Voici les dosages qu'il convient de prendre ; on pèse :

Oignons épluchés.	430 gr.
Ail épluché	430

on les fait bouillir avec 3 litres de vinaigre qu'on ajoute litre par litre ; on fait réduire à petit feu jusqu'à ce que la matière devienne poisseuse ; on met infuser alors dans le mélange 250 grammes de gomme arabique ; on passe à travers un linge ; on exprime pour recueillir tout le jus ; on filtre sur du papier en étendant avec assez d'eau pour que le liquide puisse s'écouler facilement ; on concentre enfin les liqueurs jusqu'à consistance sirupeuse.

Pour faire la dorure des imitations du vieux Sèvres, on prépare de l'or en coquille avec un métal allié par une fonte préalable d'un millième de cuivre. L'or, pendant le laminage et le broyage, conserve le cuivre qui, sous l'influence du feu, s'oxyde et communique à la dorure un aspect terne que les amateurs attribuent à la vétusté de la pièce.

Argent. — Il existe maintenant dans le commerce, surtout dans le commerce de Paris, des pièces de porcelaine dure dont la principale décoration consiste dans des ornements et des fonds comme guillochés d'argent mat. Ce mat métallique, d'un beau blanc, relevé par des ornements en bleu ou en toute autre couleur éclatante qui l'accompagne ou l'entoure, produit sur l'œil un effet très-agréable et offre à la première vue comme un éclat de nacre pâle, c'est-à-dire qui ne projette aucune couleur irisée. Cet argent, préparé par M. Rousseau, de Paris, peut fournir un bruni dit à l'effet très-distinct et très-riche, jouissant de l'avantage précieux de résister à l'action de l'acide sulfhydrique contenu dans l'air.

La résistance à l'action délétère des émanations hydrosulfurées les plus fortes tient à la superposition d'une légère couche d'or, ainsi que M. Brongniart l'a fait connaître. On étend au pinceau une couche très-mince d'or sur l'argent dont la pièce est recouverte avant de passer au feu de moufle ; puis, on fait fondre à l'aide de l'action d'une chaleur d'un rouge cerise le peu de fondant qui fixe ces deux métaux sur la porcelaine.

Le succès complet de cette argenture dépend de l'habileté pratique de l'artiste et de plusieurs précautions empiriques dont voici les principales : l'argent doit être dissous dans un acide étendu de beaucoup d'eau, précipité lentement par le cuivre et complétement lavé ; il faut que cet argent, mis sur le blanc de la porcelaine ou sur un fond de couleur dure ne contenant aucune couleur tirée de l'or, soit placé épais et visqueux ; qu'on le laisse pendant vingt-quatre heures dans cet état avant d'y mettre la légère couche d'or dissous dont on doit le couvrir, enfin que le tout soit cuit modérément.

Les métaux sont délayés dans des essences et appliqués soit à la main, soit par impression sur la poterie qu'ils doivent décorer. On fait un grand usage de l'or à l'état de filets. Ces filets se font rapidement au moyen de la tournette. Un plateau reçoit la pièce parfaitement centrée ; il tourne sur un axe qu'on peut élever à volonté par le moyen d'une vis placée dans un renflement convenablement placé. La deuxième qui limite in-

férieurement le plateau sert à faire tourner le plateau pendant que d'une main le fileur fait son décor.

La cuisson des métaux s'exécute dans les moufles comme celle des couleurs.

L'or et les autres métaux appliqués sur la poterie n'ont généralement pas l'éclat métallique après la cuisson.

Si l'on veut obtenir des effets variés, on dessine sur cet or en surface avec des pointes très-dures des ornements plus ou moins compliqués : c'est brunir à l'effet ; si l'on veut, au contraire, avoir de grandes surfaces brillantes, on brunit à plat en le frottant fortement et avec adresse, pour ne déterminer aucune rayure. Il faut surtout une grande habileté pour brunir les fonds d'or.

On se sert, pour brunir, des outils qu'on nomme brunissoirs et qu'on emploie dans un grand nombre d'ateliers. Les uns sont en hématite brune, qu'on désigne alors sous le nom de sanguine, les autres sont en agate ; ils sont très-variables de forme et de grosseur, et pour faire un bon brunissage il faut se tenir assorti de brunissoirs de formes très-différentes. Les brunissoirs se nettoient par le frottement sur un cuir chargé de potée d'étain. On commence par dégrossir avec du sablon et de la craie qui donnent une sorte de poli ; on finit avec la sanguine. Cette sorte de travail est confié presque partout à de jeunes filles ou à des femmes nommées *brunisseuses*.

Les brunissoirs sont adaptés au moyen de viroles en cuivre ou de fer aux manches par lesquels on les tient.

LUSTRES MÉTALLIQUES.

Nous ne rappellerons pas ici les propriétés qui caractérisent les lustres métalliques, nous les avons indiquées en parlant des matières employées à la décoration des produits céramiques ; on distingue :

Le lustre burgos ;	Les lustres de cuivre ;
Le lustre d'or ;	Les lustres de litharge ;
Les lustres de platine ;	Le lustre de bismuth ;
Les lustres d'argent ;	Les lustres nacrés.

Les lustres d'or et de platine sont de beaucoup les plus importants.

Lustre burgos. — Le burgos, qui tire son nom de celui d'une sorte de coquille qu'on appelle *burgau* et qu'on écrit *burgos* par corruption orthographique, peut-être en rapprochant les désignations géographiques de Valence et de Burgos en Espagne, ne me paraît être autre chose que l'un ou l'autre des produits qui vont suivre, mais très-peu chargé d'or. L'examen attentif des pièces chargées de dorure brillante, au sortir du moufle sans brunissage, le démontre clairement ; toutes les parties très-minces, celles qui proviennent du dépôt des maculatures apposées par les doigts, sont irisées et perdent l'opacité du métal en prenant la transparence du burgos.

On a donné beaucoup de recettes, en Angleterre surtout, pour préparer le burgos. Nous citerons celles décrites dans les brevets d'invention par M. Boudon de Saint-Amans. On fait dissoudre à chaud avec précaution le mélange suivant :

Eau régale.	288 gr.
Or pur.	48

L'eau régale se compose de 60 grammes acide azotique, 93 grammes acide chlorhydrique. On ajoute graduellement 4 grammes d'étain, qu'on projette par petites portions.

On verse d'abord une petite quantité de cette dissolution dans 20 grammes de baume de soufre. On délaye dans 40 grammes de térébenthine ; on mêle tous ces ingrédients avant de verser le reste de la dissolution d'or, qu'on arrête pour laisser fermenter un peu, et on remue jusqu'à ce que tout s'épaississe. On ajoute, en dernier lieu, 30 grammes de térébenthine. Le lustre d'or est le magma qu'on ne peut employer qu'après l'avoir séparé de l'eau des acides liquides employés.

Lustres d'or. — On distingue, suivant l'éclat de l'or et son épaisseur, la dorure de Meissen et le lustre d'or.

Le lustre d'or est le burgos dont nous venons de nous occuper, présentant un aspect plus brillant et plus doré ; lorsque la quantité d'or ne passe pas entièrement ou à peu près dans les liquides gras avec lesquels on mêle le chlorure d'or, on obtient une dorure plus faible et cependant plus riche que le burgos ; ce dernier résulte de l'application d'une liqueur ne contenant pour ainsi dire que quelques traces d'or.

M. de Saint-Amans a fait connaître le procédé suivant pour préparer le lustre d'or ou le *purple gold-luster*, comme on le nommait en Angleterre.

On prend une quantité convenable d'eau régale pour faire dissoudre 25 grammes d'or ; on ajoute 6g,5 d'étain par petites portions, jusqu'à ce que tout soit dissous ; on verse ensuite dans une partie de cette dissolution 50 grammes de baume de soufre mêlé de 20 grammes d'esprit de goudron. Quand ce premier mélange est fait, on verse le reste de la dissolution d'or et d'étain, on ajoute ensuite 51 grammes d'essence de térébenthine ; on mêle le tout jusqu'à ce que la matière prenne la consistance d'une bouillie épaisse. Il faut évidemment, pour employer cette matière, laisser se dissiper les liquides aqueux avec lesquels la masse huileuse est en mélange.

On a pu faire ce même lustre au moyen de l'or fulminant, et c'est la méthode la plus certaine pour le bien réussir. On le broie pendant qu'il est encore humide avec de l'essence de lavande ; le broyage, difficile d'abord, devient plus facile lorsque, par suite de l'exposition à l'air libre, l'humidité s'est entièrement dissipée.

On a proposé de faire encore ce même lustre en engageant l'or dans des dissolutions de sulfures alcalins.

La dorure de Meissen possède l'éclat métallique de l'or et la couleur de ce métal, lorsqu'elle est bien préparée ; le brillant ne résulte pas, comme pour les métaux ordinaires, du frottement avec le brunissoir. On l'obtient par différents procédés. Les procédés suivis à la manufacture de Meissen sont encore secrets. On fait cette dorure en France aujourd'hui ; M. Dutertre a fait breveter un premier procédé, MM. Carré sont également brevetés pour un procédé différent. Nous allons donner ici l'exposé des méthodes telles que ces décorateurs les ont décrites. Voici le procédé de M. Dutertre.

On met dans un vase qu'on chauffe légèrement :

Or pur.	32 gr.
Acide azotique	128
Acide chlorhydrique	128

Lorsque les métaux sont dissous, on ajoute :

Étain métallique	1g,2
Beurre d'antimoine.	1g,2

Quand la dissolution est complète, on verse :

Eau	500 gr.

D'autre part, on met dans un second vase :

Soufre	16
Térébenthine de Venise.	16
Essence de térébenthine.	80

On fait chauffer jusqu'à ce que tout soit intimement combiné, après quoi l'on ajoute 50 grammes d'essence de lavande. On fait de la sorte un véritable baume de soufre térébenthiné. En refroidissant, il ne doit pas laisser déposer de soufre.

Après ces préparatifs, on verse la dissolution d'or sur la seconde ; on met chauffer, puis on bat jusqu'à ce que l'or ait passé dans les huiles ; on enlève l'eau chargée des acides séparés de l'or ; on lave avec de l'eau chaude, et lorsque les dernières traces d'humidité sont éloi-

gnées, on ajoute 65 grammes d'essence de lavande et 100 grammes de térébenthine ordinaire; on fait chauffer jusqu'à complet mélange. On laisse reposer un peu la partie claire dans un vase à part sur 5 grammes de fondant de bismuth; on fait chauffer pour que le liquide soit d'un emploi convenable.

La liqueur chargée d'or se présente alors sous forme d'un liquide visqueux à reflet très légèrement verdâtre; l'or y est à l'état soluble, lorsqu'un repos a permis à toutes les parties non dissoutes, qui se sont précipitées sous forme cristalline, de se réunir au fond du vase et qu'on les a séparées par la décantation. La térébenthine de Venise donne à la liqueur la propriété siccative qu'elle doit posséder pour que les décors sèchent promptement. Les résines aurifères se décomposent par la chaleur en donnant, à basse température, sans se fondre, un dépôt de charbon chargé d'or qui conserve l'apparence d'une feuille d'or laminée d'une excessive minceur. La beauté de la dorure résulte entre autres faits de l'absence de toute fusion dans la matière résineuse. Une étude attentive des antériorités conduit à reconnaître de nombreux perfectionnements qui font de ce procédé pour l'obtention des lustres d'or une méthode particulière.

Les points nouveaux et véritablement importants des procédés de MM. Dutertre sont, comme l'a récemment consacré le jugement de la 8e chambre du tribunal de la Seine :

1° L'addition à la solution d'or de l'eau qui modère l'action trop énergique qu'exerce cette solution sur le baume de soufre, et permet que le combinaison se fasse d'une manière plus régulière.

2° La substitution au baume de soufre huileux d'un baume de soufre spécial obtenu à l'aide d'un mélange d'essence de lavande et de térébenthine, dont le but est de rendre le produit aurifère soluble et apte à se réduire sans se boursoufler, quand on l'expose à l'action de la chaleur.

3° L'addition au baume de soufre dont nous venons de parler, de la térébenthine de Venise qui doit, d'une part, augmenter la consistance de ce baume, l'empêcher de couler, de s'étendre au delà des parties qu'on veut décorer, et d'exalter, d'autre part, les propriétés adhésives du baume lorsqu'il est appliqué.

4° Le lavage du produit aurifère, qui a pour but de soustraire ce produit à l'action ultérieure des acides, et de le mettre dans les meilleures conditions de conservation.

5° Enfin l'addition au produit aurifère obtenu des essences de lavande et de térébenthine qui dissolvent ce produit, ce qui permet de séparer par le repos les matières indissoutes, et d'obtenir un liquide homogène dans toutes ses parties.

En négligeant l'emploi de ces divers perfectionnements, ou bien on prépare un liquide trop peu chargé d'or, ou bien une matière huileuse non siccative d'un emploi difficile, bouillonnant à la première impression de la chaleur et ne donnant qu'une dorure inégale.

MM. Carré décrivent leur procédé de la manière suivante : dans un matras on fait dissoudre 10 grammes d'or au moyen de 100 grammes d'eau régale, on étend la dissolution dans 150 grammes d'eau. Ensuite on ajoute 100 grammes d'éther rectifié; on agite, afin que l'éther s'empare de l'or. On verse le tout dans un entonnoir de verre; on laisse déposer un instant; l'éther chargé d'or reste dessus, puis on laisse écouler l'acide tout doucement jusqu'à ce qu'il ne reste plus que l'éther qui est devenu jaune. On le remet dans le matras.

Dans un autre matras, on fait une dissolution de 20 grammes de sulfure de potassium qu'on décompose avec 200 grammes d'acide azotique; on lave le précipité jusqu'à ce que l'eau de lavage soit pure; on fait sécher le précipité lavé, puis on le remet dans le matras avec 5 grammes d'huile de noix et 25 grammes d'essence de térébenthine ordinaire; on fait dissoudre au bain de sable. On obtient de la sorte un baume de soufre, dans lequel on mêle 25 grammes d'essence de lavande. On verse cette dissolution dans la dissolution d'éther; on agite pendant quelques minutes, puis on décante dans un bol de porcelaine; on concentre jusqu'à consistance sirupeuse; on ajoute :

Sous-nitrate de bismuth. .	15	décigrammes.
Borate de plomb.	15	—

La quantité de fondant varie, du reste, avec la nature de la poterie sur laquelle on applique ce produit; pour l'employer, on le met mince, en le délayant dans un mélange fait à volumes égaux d'essence de térébenthine et d'essence de lavande. On voit que, dans ce procédé, ni l'étain, ni le beurre d'antimoine ne sont mentionnés.

Lustre de platine. — On obtient avec la plus grande facilité le lustre de platine en broyant le chlorure de platine anhydre avec de l'essence de lavande ou toute autre huile essentielle, avec du baume de soufre térébenthiné, et toute matière résineuse et siccative. On applique la liqueur huileuse au pinceau de la même manière que les mélanges qui précèdent. On pourrait, sans doute, substituer avantageusement le chlorure double d'ammoniaque et de platine au chlorure simple de platine qui s'empare avec une très-grande facilité de l'humidité de l'atmosphère.

Le platine reste après la cuisson avec un éclat aussi pur que s'il l'eût reçu du brunissage le plus soigné.

Lustre d'argent. — Quelques pièces de poterie appartenant aux faïences communes de fabrication ancienne offrent une coloration brillante métallique à reflets jaunâtres.

Je crois qu'il est possible de reproduire ce lustre au moyen de l'argent, en le dissolvant dans l'acide azotique et en cherchant à l'incorporer dans des liquides huileux, comme nous avons vu qu'on le faisait pour l'or. On sait que le chlorure d'argent appliqué sur certains verres se décompose en donnant un silicate d'argent qui colore en jaune plus ou moins foncé, par une sorte de cémentation, la surface sur laquelle il est appliqué. Le chlorure d'argent pourrait donc être de même appliqué sur porcelaine pour donner un lustre ayant un certain éclat métallique, sans qu'il soit nécessaire de le brunir.

Il est seulement indispensable de cuire la pièce recouverte de ce lustre dans une atmosphère réductrice. Le chlorure d'argent est fondu préalablement avec un cristal plus ou moins fusible et plombifère. Le mélange broyé se pose au pinceau sur la poterie qu'on veut décorer. On cuit, et lorsque la pièce est encore rouge, on la fait passer dans une enceinte dans laquelle on dégage une fumée plus ou moins abondante.

Le lustre, qu'on nomme cantharide, parce qu'il rappelle les brillantes couleurs des cantharides, est obtenu par la composition qui donne le lustre jaune; il n'y a de différence qu'en ce que ce lustre, au lieu d'être apposé sur une poterie blanche, l'est sur une poterie colorée en bleu. La superposition du jaune sur le bleu forme une teinte verdâtre qui n'est pas sans agrément; on comprend facilement la grande variété de fonds que ce lustre pourrait donner s'il était appliqué sur des glaçures déjà variées de coloration.

Lustre de cuivre. — Le lustre de cuivre offre le même aspect et le même chatoiement rosâtre et jaunâtre que le lustre burgos.

On en trouve l'application fréquente sur les faïences communes d'Espagne et sur les spécimens les plus recherchés des majoliques de l'époque de Giorgio. On ne peut conserver aucun doute sur la nature de ce vernis; le cuivre est la matière colorante; la couche colorante

très-mince est peut-être formée d'un silicate d'oxydule de cuivre.

Le lustre de cuivre n'est pas encore devenu l'objet d'une fabrication courante. Quelques recherches ont été faites pour retrouver les anciens procédés qui étaient assez certains pour permettre d'appliquer, sur une faïence à glaçure stannifère, des traits et des linéaments très-déliés et d'un rouge rubis du plus brillant effet. J'ai fait quelques essais qui m'ont prouvé que s'il était possible de faire passer dans le moufle, pendant la cuisson de dessins composés d'azotate de cuivre, de l'hydrogène ou de l'oxyde de carbone, on obtiendrait du rouge brillant comme le rouge majolique. En enflammant simplement, dans un moufle chargé de tessons de faïence à glaçure stannifère, du papier contenant de l'oxyde de cuivre, on détermine une volatilisation suffisante de cet oxyde pour déposer sur les parties émaillées une sorte de lustre cuivreux aussi brillant que celui des poteries de Manassès, près Valence.

Lustre de plomb. — On donne le nom de lustre de litharge ou de lustre de plomb à la coloration brillante irisée que présentent certaines poteries à glaçure plombifère; ces poteries ont dû recevoir pendant leur cuisson l'influence réductrice de quelques vapeurs, qui ont en même temps fait réaction sur l'oxyde de fer que ces glaçures peuvent contenir. Nous compléterons cette préparation en parlant des lustres nacrés.

Je n'ai jamais remarqué que les glaçures de porcelaine tendre, par exemple, qui sont complétement exemptes de fer, présentassent l'apparence du lustre de litharge, lorsqu'on les cuit dans des conditions prononcées de réduction. Il se développe souvent une coloration noire due à du plomb métallique réduit; peut-être les résultats seraient-ils différents en présence d'un grand excès de litharge.

Lustres de bismuth. — Le commerce de la porcelaine décorée vient de s'enrichir d'un produit appelé, je le pense, à jouir d'une grande vogue, lorsque les premières difficultés, conséquence de la nouveauté, disparaîtront devant une pratique journalière.

M. Brianchon a modifié fort heureusement les conditions dans lesquelles on prépare les chatoyants ordinaires en les rendant susceptibles de communiquer aux objets céramiques sur lesquels on les appose, les couleurs de l'or, de la nacre blanche et colorée, les reflets irisés et changeants des coquilles naturelles. Ces produits jouissent d'un brillant tel qu'on pourrait croire que les couleurs sont passées sous émail; on peut, à volonté, les employer en fonds ou comme décors déliés et délicats. C'est le bismuth qui donne cet éclat particulier.

Le procédé par le moyen duquel on obtient ces résultats se divise en deux temps :

1° La préparation des fondants ;

2° La préparation des colorants.

Ces derniers une fois obtenus s'ajoutent dans des proportions variables aux fondants et déterminent par leur mélange les teintes les plus variées, que nous nommons *lustres nacrés*.

Les fondants qui servent à faire glacer les sels et les oxydes métalliques sont les sels de bismuth et de plomb. Les premiers sont préférables; ils supportent beaucoup mieux, et sans altération, de hautes températures; leur préparation comme fondants est, du reste, exactement la même.

On prend 10 parties en poids de nitrate de bismuth, 30 parties de résine arcanson ou colophane, 75 parties d'essence de lavande ou toute autre essence ne fournissant pas de précipité dans le mélange.

On procède ainsi : dans une capsule qui repose sur un bain de sable, chauffée graduellement, on met les 30 parties de résine, et à mesure qu'elle fond, on verse petit à petit les 10 parties de nitrate de bismuth, tout en remuant, pour bien incorporer les deux substances; dès qu'elles commencent à brunir, on verse au fur et à mesure 40 parties d'essence de lavande et on continue d'agiter le tout afin de produire le mélange intime et la dissolution des substances; après quoi la capsule est retirée de son bain de sable et refroidie graduellement; c'est alors qu'on ajoute les 35 parties restantes de l'essence de lavande, puis on laisse refroidir quelques heures, autrement l'emploi en serait difficile et inégal.

Lustres nacrés. — Ces lustres résultent du mélange du lustre de bismuth et des colorants que nous allons décrire. Les sels ou oxydes métalliques qui concourent à leur formation sont empruntés au règne inorganique comme les sels de platine, d'argent, de palladium, de rhodium, d'iridium, d'antimoine, d'étain, d'uranium, de zinc, de cobalt, de chrome, de cuivre, de fer, de nickel, de manganèse, etc., quelquefois même d'or, pour produire, dans ce dernier cas, ou les riches teintes des coquillages ou les reflets du prisme.

Pour les obtenir, on opère de la manière suivante :

1° Couleur jaune. Dans une capsule chauffée par un bain de sable, on fait dissoudre 30 parties de résine arcanson à laquelle on ajoute, lorsqu'elle est sur le point d'être fondue, 10 parties de nitrate d'uranium et, pour faciliter le mélange, 35 à 40 parties d'essence de lavande. Lorsque la matière liquide a été convenablement rendue homogène par l'agitation, on retire la capsule du feu et on ajoute de nouveau 30 à 35 parties d'essence de lavande; le colorant mélangé par parties égales au fondant de bismuth et appliqué au pinceau sur l'objet fournit une préparation qui, après cuisson, donne un ton jaune brillant.

2° Colorant rouge-orange. On l'obtient en faisant fondre 15 parties de résine d'arcanson; après fusion, on y verse en même temps 15 parties de nitrate de fer et 18 parties d'essence de lavande. Les additions se font petit à petit et en ayant soin d'agiter le mélange convenablement homogène; on retire du feu, et lorsqu'il est un peu refroidi, on y ajoute 20 parties d'essence de lavande; le colorant mélangé avec 2/3 ou 1/3, ou des proportions intermédiaires de son poids de fondant, fournit une préparation qui, après cuisson, donne une couleur rouge-orange ou nankin et tous les tons intermédiaires suivant la proportion de fondant employé.

3° Colorant imitation d'or. Il se fait par le mélange des deux préparations ci-dessus indiquées, en faisant entrer deux ou trois parties de la préparation d'uranium pour une de celle de fer; c'est par le mélange des deux préparations qu'on produit après cuisson une coloration métallique imitant les différents tons de l'or poli.

4° Couleurs irisées du prisme. On prend on l'ammoniure ou le cyanure d'or et de mercure, ou l'iodure d'or, ou la teinture d'or; ces composés aurifères sont broyés avec de l'essence de térébenthine sur une palette de façon à former une pâte qu'on laisse sécher pour la rebroyer à nouveau avec l'essence de lavande; ceci fait, on ajoute à une partie du produit aurifère 1, 2, 3 et jusqu'à 10 parties de fondant préparé au bismuth, en l'étendant au pinceau sur les pâtes décorées et cuites et les recouvrant de la dissolution d'urane, on obtient des tons plus ou moins foncés, plus ou moins variés.

Toutes ces préparations se mélangent parfaitement entre elles, elles se superposent même, et appliquées au pinceau sur les objets, elles fournissent toujours après cuisson des teintes et des tons glacés.

Quant à la couleur pure de la nacre blanche, elle s'obtient par le fondant de bismuth qu'on mélange à celui de plomb, et quelquefois on y ajoute du chlorure d'antimoine mélangé dans la résine. L'essence de lavande employée dans toutes les préparations pourrait

être remplacée par toute autre essence ne précipitant pas les substances avec lesquelles elle est mélangée, de même que la résine d'arcanson peut être remplacée par la colophane ou autre résine. Lorsqu'on fait l'application de ces préparations au pinceau, on doit éviter de mettre des couches trop minces ou trop épaisses qui produiraient des teintes trop pâles ou trop foncées; on doit surtout éviter le dépôt des poussières sur les objets enduits.

Les indications techniques que nous avons présentées au sujet de l'or de Meissen s'appliquent ici et nous dispensent de donner l'explication théorique des phénomènes qui se passent dans cette opération, qui ajoute par des moyens très-simples aux ressources du décorateur de porcelaine.

Position des lustres. — La définition des lustres, telle que nous l'avons donnée plus haut, limite singulièrement la position de ces produits sur les poteries qu'ils décorent. Ils doivent toujours être sur la glaçure, et la condition la plus importante à remplir pour qu'ils soient réussis, c'est que la glaçure soit parfaitement brillante.

Les diverses méthodes à l'aide desquelles on applique les lustres se confondent avec celles employées pour l'application des couleurs et des métaux : on les applique délayés dans des essences et des corps gras pour faire adhérer la matière pendant le travail; on fait usage de putois, de pinceaux de diverses grosseurs et de diverses formes, suivant la nature des produits qu'on veut décorer et suivant le genre de travail dont on désire faire l'application.

Ici se bornent les notions que je crois devoir présenter sur l'art de décorer les poteries. Mon but était de réunir les principes généraux qui doivent faciliter la lecture et l'étude des traités spéciaux écrits sur la matière. J'ai dû me dispenser de retracer un grand nombre de détails qu'on trouvera dans les ouvrages plus étendus, comme le *Traité des arts céramiques*, de M. Brongniart, auquel je renvoie ceux qui désireraient s'initier aux pratiques de cet art. SALVÉTAT.

DENSITÉ. Nous rapportons, d'après Poncelet, le poids du mètre cube des substances que l'on rencontre dans les constructions, dont on a besoin fort souvent pour déterminer les dimensions des voûtes, des planchers, etc.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.
	kil.
Pierre à plâtre ordinaire	2168
Gypse ou plâtre fin.	2264
Pierre meulière.	2484
Marbre noir et blanc	2717
Briques { les plus cuites	2200
Briques { les moins cuites	1500
Tuiles ordinaires	2000
Sable pur.	1900
Sable terreux.	1700
Terre végétale légère.	1400
Terre argileuse.	1600
Terre anglaise	1900
Maçonnerie de moellons ordinaires, de 1700 kil. à.	2300
Chêne le plus pesant, le cœur. . . .	1170
Chêne le plus léger, sec.	850

DENTELLE. C'est en Flandre, puis en Italie, à Venise et à Gênes, que furent fabriquées les premières dentelles. Jusqu'au dix-septième siècle, la France fut tributaire de l'étranger, dont les produits étaient de beaucoup supérieurs à ses premiers essais. Mais, sous l'administration de Colbert, la fabrication de la dentelle fut si bien encouragée, et ses progrès furent si rapides, qu'elle ne tarda pas à soutenir honorablement la concurrence de l'industrie étrangère. Aujourd'hui, malgré la supériorité considérable, sous le rapport de la quantité, de la production belge, la France n'a pas dégénéré. Le point d'Alençon témoigne encore du rang que ses produits ont conquis par les soins du ministre de Louis XIV; la valenciennes et la dentelle de Lille, quoique fabriquées en grande partie à Ypres, à Bruxelles et à Courtray, portent des noms qui rappellent leur origine. Cette dernière, d'ailleurs, n'a pas complétement émigré, et ce sont encore nos manufactures qui produisent les ouvrages les plus remarquables dans cette catégorie.

La fabrication moderne est restée dans la voie où elle est entrée au dix-septième siècle, c'est-à-dire qu'elle a continué à chercher, surtout dans ses produits, la finesse, la souplesse et la légèreté. Au commencement de cette industrie, la bissette, la gueuse et la campane étaient des tissus en fil plus solides qu'élégants. La guipure, qui vint ensuite, ressemblait assez, quant au dessin, à la guipure moderne; mais la soie, l'argent et l'or étaient les matières dont elle était formée. Le point de Venise et le point de Gênes lui succédèrent pour se voir, à leur tour, remplacés par les produits d'Anvers et de Bruxelles.

Il y a maintenant cinq catégories principales de dentelles en fil fabriquées à la main. C'est un de ces cas rares où l'industrie échappe à la mécanique.

Ces cinq catégories sont :

Le point d'Alençon; c'est le point de France, c'est la dentelle que nous devons à Colbert. Elle se fait à l'aiguille.

Le point d'Angleterre, qu'on appelle encore, moins souvent, mais plus justement, point de Bruxelles. A l'instar de la France, l'Angleterre eut un moment l'intention d'encourager la fabrication de la dentelle et d'en faire une industrie anglaise. Pour y parvenir, elle voulut attirer chez elle les ouvrières de la Flandre. Elle n'y réussit pas; mais, à la même époque, une quantité considérable de marchandises fut achetée à l'étranger par ses agents, importée et revendue sous le nom de point d'Angleterre. Telle est l'origine de cette dénomination trompeuse, car le produit qu'elle désigne n'a jamais été fabriqué que sur le continent. Le point d'Angleterre est l'œuvre de deux classes d'ouvrières; les premières brodent l'ornement, les autres tissent le fond; on applique ensuite l'un sur l'autre. Lorsque le fond est fait à la mécanique, la dentelle prend le nom d'application d'Angleterre.

La dentelle de Malines ou broderie de Malines. Ce deuxième nom lui vient de ce que les fleurs sont entourées et en quelque sorte mises en relief par un fil qui est comme le trait apparent du dessin. Elle est fabriquée au fuseau, fond et fleurs ensemble.

La valenciennes, également faite au fuseau et d'un seul coup.

Enfin la dentelle de Lille, dont la fabrication est semblable à la précédente, mais sans atteindre la même solidité.

Tels sont les produits supérieurs de cette industrie. Il en est beaucoup d'autres qui, de même, tirent leurs noms des localités où on les fabrique; mais il est inutile d'insister.

Si remarquables et véritablement artistiques que fussent les tissus connus sous le nom de guipure, de point de Gênes et de point de Venise, il faut le reconnaître, le jour où la dentelle sut allier la souplesse à la solidité du réseau, elle entra de plain-pied dans le caractère qui lui convient avant tout. Néanmoins on peut regretter que la fabrication moderne ait aussi complétement détrôné ses devancières. Je ne crois pas, en effet, qu'il

y eût de comparaison possible, partant de rivalité nécessaire entre elles. D'un côté l'ampleur, la grande tournure, le style; de l'autre, la grâce, la légèreté, l'élégance; cela semble indiquer pour chacune la possibilité d'un emploi particulier. Mais autant par l'influence de la mode que par leurs qualités réelles, les produits d'Anvers et de Bruxelles l'ont emporté; et ces premières dentelles souples et légères sont demeurées les types auprès desquels s'inspire encore la fabrication moderne.

Le caractère du dessin seul est susceptible de modifications dans cette industrie, et c'est par les formes que ces produits prennent une valeur artistique. La guipure, au moyen de nervures bien apparentes, reproduisit des enchevêtrements de lignes assez semblables à certaines décorations en usage lorsqu'elle parut, soit sur les monuments, soit sur les pièces d'orfèvrerie. La dentelle légère eut d'autres formes, mais en général analogues aux ornements employés dans les arts; ceci toutefois non sans restriction, car on ne peut nier qu'il existe une très-grande diversité de composition dans tous ces objets.

DÉTENTE (SOUPAPE A). MM. Lemonnier et Vallée ont inventé une disposition qui résout ce problème intéressant, de faire parcourir à un point une longueur déterminée, presque instantanément, aussitôt qu'il est arrivé à une position déterminée.

Ce système a été combiné en vue des soupapes de sûreté des locomotives, afin de livrer un grand passage à la vapeur aussitôt que celle-ci les a soulevées d'une certaine quantité, mais il peut trouver d'autres applications.

Il consiste (fig. 3476) en deux barres M, N terminées en demi-cercle, et réunies par une barre AB et deux boulons A et B. La barre M étant celle par l'intermédiaire de laquelle la traction s'exerce, et la résistance s'exerçant en A, la figure du système sera invariable tant que la tige qui se voit bien sur la fig. 3476, parallèle à N (fig. 3477), sera prise entre des guides et une plaque de recouvrement C. Mais après un mouvement égal à la longueur qui pénètre dans ces guides, qui empêchent tout mouvement oblique sur la direction MN, la barre guidée échappe, et aussitôt la traction de M entraînent le point A, une rotation a lieu autour du point B, la tige M s'élève de 2 AB, le système prenant la disposition représentée figure 3477.

3477. 3476.

DIAMANT. Wollaston a fait d'intéressantes recherches pour analyser la curieuse propriété du diamant de couper le verre. Il a remarqué que le diamant taillé par le lapidaire, a des arêtes qui sont des lignes droites puisque les faces sont des plans, tandis que les faces des diamants naturels sont courbes et que par suite l'arête est également une ligne courbe. Il a reconnu que, pour que la section du verre se fasse bien, il faut que le diamant soit appliqué bien perpendiculairement sur la surface; les parties pressées par une ligne sans épaisseur forment coin et séparent les molécules du verre au delà de leur limite d'élasticité.

En taillant dans les conditions ci-dessus indiquées des rubis, des saphirs, des spinelles, le docteur Wollaston est parvenu à couper le verre aussi parfaitement qu'avec le diamant, seulement cette propriété était moins durable à cause de l'usure de ces pierres bien moins dures que le diamant. La surface des diamants est toujours plus dure que celle des plans de clivage intérieurs.

Les figures 3478, 3479 et 3480 montrent la manière de monter le diamant du vitrier, de l'enchâsser dans

3478. 3479.

3480.

une tige dressée après cette opération, pour qu'on puisse facilement le faire agir dans les conditions les plus favorables.

DIAMANT NOIR. Le travail du granit a toujours été fort pénible à cause de la dureté de cette substance et de la rapidité avec laquelle s'use l'acier qui sert à le travailler. L'exécution de cylindres de granit bien réguliers, employés aujourd'hui fréquemment pour le broyage des couleurs et du chocolat, était surtout difficile et coûteuse. Ce travail a été récemment simplifié de la manière la plus heureuse par l'emploi d'une substance qui est assez dure pour entamer le granit, pour le travailler sur le tour sans s'user. Cette substance est le diamant noir qui se trouve assez abondamment et en beaux morceaux dans les mines de diamant du Brésil, et qui, repoussé par la bijouterie, n'a pas de valeur.

Le travail du porphyre, des pierres dures exécuté à l'aide du diamant noir, avec un burin d'une extrême dureté, fournit à un prix modéré, des vases, des vasques de fontaine du plus beau travail.

DILATATION DES LIQUIDES. L'accroissement de volume des liquides, lors de leur échauffement, a été étudié avec soin dans ces dernières années, principalement par M. Isidore Pierre, et il a été reconnu qu'il s'en fallait beaucoup qu'il fût proportionnel à la température. Ces nouvelles constatations de phénomènes, que l'ancienne manière d'analyser les effets de la chaleur était loin de faire prévoir, sont précieuses en ce qu'elles montrent la nécessité de compléter une théorie si insuffisante à tant d'égards. Malheureusement on n'est pas parvenu à formuler la loi du phénomène, on a seulement pu indiquer que la dilatation variait à peu près comme la compressibilité. M. I. Pierre a cherché à la représenter par une formule à coefficients variables, dont il a réuni dans une table les valeurs successives, ce qui permet de représenter les faits avec exactitude, mais sans possibilité d'employer les résultats acquis à accomplir de nouveaux progrès, à rien prévoir, à constituer une science enfin.

C'est en suivant sur des thermomètres semblables, faits avec des liquides différents, dont un à mercure, les accroissements du volume primitif marqués pour chacun d'eux aux diverses températures, que se font ces expériences. J'en donnerai les résultats pour quelques liquides principaux.

La formule d'interpolation en seule fonction de la température adoptée par M. I. Pierre donne pour la température T le volume $V = 1 + aT + bT^2 + cT^3$, le tableau ci-après renferme les valeurs des coefficients a, b, c, et les limites de température entre lesquelles ils sont applicables.

NOM du liquide.	VALEURS extrêmes de T.	a.	b.	c.
Acide acétique.	0 à 138	0,001050370	0,0000018339	0,00000000079
Alcool anhydre.	—34 à 78	0,001048630	0,0000017510	0,00000000134
Brôme.	— 7 à 63	0,001038186	0,0000017114	0,00000000545
Bi-chlorure d'étain. . .	—20 à 115	0,001132801	0,0000009147	0,00000000758
Eau	0 à 25	—0,000061040	0,0000077183	—0,00000003734
	25 à 50	—0,000065410	0,0000077587	—0,00000003541
	50 à 75	+0,000059160	0,0000031849	0,00000000728
	75 à 100	0,000086450	0,0000031892	0,00000000245
Essence de térébenthine.	0 à 150	0,000847400	0,0000012480	0,00000000000
Éther	—15 à 36	0,001513215	0,0000023592	0,00000004005
Mercure.	0 à 350	0,000179007	0,0000000252	0,00000000000
Sulfure de carbone. . .	—35 à 60	0,001139804	0,0000013706	0,00000001912

Les dilatations représentées par ces chiffres diffèrent beaucoup de la proportionnalité admise *à priori*.

Il paraît assez naturel de chercher la loi de ces variations dans l'accroissement de la pression de la vapeur que forme le liquide à chaque température, peut-être dans la vapeur intermoléculaire qui tend à se former entre les molécules, et, dans ce cas, la formule qui représente la dilatation doit avoir un rapport intime avec celle qui représente les variations de pression de la vapeur aux températures correspondantes. Nous avons, pour faire ces comparaisons pour la vapeur d'eau, les expériences de M. Regnault. Ainsi, si nous comparons les accroissements totaux de volumes de l'eau et les pressions de la vapeur, à quatre points également espacés de 0 à 100°, nous aurons :

LIMITES DE TEMPÉRATURES.

	0°	à 25°	à 50°	à 75°	à 100°
Les accroissements de volumes, s'ils étaient proportionnels, seraient, en dix-millièmes :	0	27	54	81	108
Ceux fournis par l'expérience sont	0	27	54	83	120
Les pressions sont. . .	4mm,6	24	91	288	760

Les pressions croissent bien comme les volumes, mais bien plus rapidement toutefois, et cela surtout dans le voisinage du point d'ébullition, ce qui paraît s'expliquer assez naturellement pour l'expansion de la vapeur qui se dégage, qui cesse d'être seulement intermoléculaire, se forme par masses sensibles d'autant plus qu'on se rapproche de ce point et constitue un état intermédiaire voisin de l'ébullition.

Gaz liquéfiés. — Cette manière de voir trouve sa confirmation dans une série de phénomènes étudiés récemment, dans la dilatation très-considérable des liquides provenant de la liquéfaction des gaz.

M. Thilorier avait trouvé, pour le coefficient de l'acide carbonique liquide, entre 0° et 30°, le chiffre 0,0142, c'est-à-dire un chiffre quatre fois plus fort que celui de la dilatation des gaz, qui est considérable.

M. Drion a repris ces expériences et a trouvé de même qu'à des températures voisines de celles où les liquides se transforment en vapeurs dans des espaces très-restreints, ces liquides ont un coefficient de dilatation très-considérable, supérieur à celui des gaz à la pression atmosphérique.

Le liquide à étudier étant renfermé dans un appareil analogue aux thermomètres *à maxima*, on peut suivre sa dilatation en le chauffant dans un bain liquide à une température déterminée, et la mesurer, en ayant déterminé à l'avance le rapport qui existe entre la capacité du réservoir et celle d'une division de la tige. Voici les résultats qu'il a obtenus pour deux corps de composition très-différente :

Éther chlorhydrique.

A 0°, dilatation moyenne	0,00157
Entre 121 et 128°	0,00360
Entre 128 et 134°	0,00421
Entre 144,5 et 149°,25.	0,00553

Acide sulfureux.

Entre 0 et 18°, dilatation moyenne.	0,00193
Entre 94 et 99°,5	0,00463
Entre 108 et 115°,5	0,00463
Entre 116 et 122°	0,00532
Entre 122 et 127°	0,00600

On voit avec quelle rapidité la dilatation augmente, et l'on serait sûrement arrivé à un chiffre aussi élevé que celui trouvé par Thilorier, si, à son exemple, on avait employé des vases résistants au lieu de simples tubes de verre incapables de résister aux pressions considérables qui se produisent.

Ces faits semblent bien indiquer que, malgré leur apparence, ces liquides sont, en réalité, comme mélangés de gaz, en lequel ils se résolvent instantanément, sans ébullition aucune, lorsqu'on atteint un certain degré d'échauffement. Ce qui existe alors a nécessairement lieu, dans une tout autre proportion, bien entendu, pour les liquides ordinaires, et fournit l'explication satisfaisante d'un fait qui paraît assez étrange à première vue.

DISTILLATION. On comprend aujourd'hui sous le nom de *Distillation* des opérations de nature différente : la vaporisation de l'alcool et substances analogues pour les séparer de l'eau (l'évaporation pour enlever l'eau qui dissout des substances solides est un cas particulier de la distillation) et la distillation sèche, la décomposition des substances par le feu pour séparer les produits volatils des parties solides, qui est en réalité une carbonisation.

Nous avons déjà consacré l'article ALAMBIC à l'étude des appareils et des conditions physiques de la distillation ordinaire. Nous la compléterons ici par quelques chiffres, et d'abord nous emprunterons à Chaptal, qui avait assisté à l'invention d'Édouard Adam et avait connu toutes les luttes qu'il eut à supporter, le récit de cette découverte et l'indication des principes de son appareil. L'historique d'un progrès industriel est quelquefois (et nous croyons que c'est ici le cas) le meilleur moyen de graver dans l'esprit un important progrès. Celui qu'a accompli Édouard Adam a révolutionné toute l'industrie qui traite des matières volatilisables par la chaleur et a permis de les obtenir à peu de frais, d'une manière continue, avec la

degré de pureté et de concentration voulue. C'est là ce que réalisent aujourd'hui les appareils employés dans les distilleries et ceux employés dans bien des fabrications de produits chimiques. (Voy. AMMONIAQUE.)

Voici comment l'illustre Chaptal s'exprime au sujet de cet appareil, dans son remarquable *Traité de chimie appliquée à l'agriculture* :

« Un appareil chimique, par le moyen duquel on fait passer des vapeurs ou des gaz à travers des liquides pour les en saturer, a donné à Édouard Adam la première idée de son appareil de distillation.

« La connaissance du fait que les vapeurs aqueuses se condensent à un degré de chaleur qui ne peut pas opérer la condensation des vapeurs alcooliques, lui a fourni le moyen de compléter son appareil. L'appareil chimique lui a suggéré l'idée de conduire, à l'aide d'un tube de cuivre, les vapeurs qui s'élèvent d'une chaudière de vin placée au foyer du fourneau dans une nouvelle chaudière remplie de vin, pour y déposer leur chaleur et porter le liquide à l'ébullition; les vapeurs qui s'élèvent de celle-ci peuvent être portées dans une troisième, où le vin ne tarde pas à se mettre en ébullition; de sorte qu'il suffit d'entretenir le feu sous une chaudière et de transmettre la vapeur alcoolique dans le vin contenu dans deux et trois autres chaudières bien closes, pour opérer la distillation dans toutes. Cette manière de transmettre le chaleur est aujourd'hui pratiquée dans plusieurs ateliers étrangers à la distillation, et c'est ce qu'on appelle *chauffer à la vapeur*.

« Par ce moyen, Édouard Adam obtenait déjà une grande économie de combustible, et il était sûr d'avoir des vapeurs alcooliques qui ne pouvaient en aucun temps sentir le brûlé. Il gagnait encore sur le temps et sur la main-d'œuvre, attendu qu'un ouvrier qui ne soignait qu'un fourneau produisait de plus grands résultats que s'il n'eût fait qu'évaporer dans une chaudière.

« C'était déjà beaucoup, sans doute, mais ce n'était pas encore assez : il fallait trouver le moyen de séparer les vapeurs aqueuses des vapeurs alcooliques, pour avoir les dernières dans leur plus grand degré de pu-denser, et ira jusqu'au serpentin, où elle subira sa condensation.

« En partant de ce raisonnement, établi sur des faits positifs, il a adapté un tube à la partie supérieure de la dernière chaudière. Ce tube conduit les vapeurs dans un premier condensateur sphérique, baigné par l'eau; là, une partie des vapeurs aqueuses se résout en liquide, et ce liquide est porté par un tuyau dans le vin de la première chaudière, pour y être redistillé et dépouillé d'une légère portion d'alcool qui y est dissoute; les vapeurs qui ne peuvent pas se condenser dans ce premier vase passent dans un second, où il s'opère une condensation nouvelle, attendu que la température y est moins élevée; de ce second elles passent dans un troisième et dans un quatrième, et ce qui se condense se rend, comme nous venons de le dire, dans la chaudière, pour qu'une nouvelle distillation enlève tout ce qui y reste de spiritueux.

« La vapeur, en traversant les condensateurs, perd peu à peu sa chaleur; l'eau se précipite; l'alcool se purifie; il se dépouille de presque toute l'eau qui s'était élevée avec lui par l'évaporation, et lorsqu'il arrive au serpentin, il se condense et marque la plus haut degré de spirituosité.

« On voit, par ce qui précède, que, d'après ce procédé ingénieux, on peut obtenir à volonté, et par une seule opération, tous les degrés de spirituosité alcoolique du commerce. Chaque condensateur donne un degré différent, et en retirant successivement le produit de chacun, on a des degrés qui varient depuis l'eau-de-vie jusqu'à l'alcool le plus pur. On peut encore diriger les vapeurs dans le serpentin sans les faire passer par l'intermédiaire des condensateurs, et alors on obtient le degré qui forme la bonne eau-de-vie du commerce.

« Tels sont les principes qui constituent éminemment le procédé d'Édouard Adam; mais, indépendamment de l'application de ces principes, il a ajouté des améliorations qui rendent son appareil représenté figure 3481 plus parfait.



3481.

reté possible, et c'est ce qu'il a fait en appliquant à son appareil le second principe que nous avons déjà posé.

« Faisons passer, s'est-il dit, les vapeurs alcooliques qui sortent de la dernière chaudière, dans des vases qui soient immergés dans un bain d'eau froide, la vapeur aqueuse s'y condensera, et je pourrai la ramener dans les chaudières pour y être redistillée, tandis que la vapeur alcoolique sortira de ces vases sans s'y con-

« 1° A l'aide de robinets et de tuyaux, il dirige à volonté la vapeur dans un petit serpentin d'essai, pour y opérer la condensation et juger du degré de spirituosité toutes les fois qu'il le trouve convenable;

« 2° Il a interposé un serpentin entre les condensateurs et le serpentin à eau; il fait baigner dans le vin le serpentin supérieur, et, par ce moyen, le vin y prend un degré de chaleur qui hâte son ébullition lorsqu'on

on remplit les chaudières. Le premier serpentin condense la vapeur alcoolique de manière que l'alcool coule liquide dans le second serpentin, et échauffe peu le bain d'eau dans lequel ce second serpentin est plongé.

« Il résulte de ces dispositions trois principaux avantages : le premier, de chauffer sans aucune dépense le vin qu'on va distiller; le second, de n'être pas obligé de renouveler l'eau du serpentin; le troisième, d'obtenir constamment de l'alcool froid, et d'éviter toute déperdition ou évaporation.

« M. Édouard Adam forma de suite plusieurs grands établissements d'après ces principes, à Cette, à Toulon, à Perpignan, etc., et s'assura d'un brevet d'invention pour jouir en sûreté du fruit de sa découverte.

« Mais ces succès éveillèrent bientôt l'attention des autres distillateurs; ses résultats étaient tels, que ces derniers ne pouvaient plus concourir avec lui : dès lors on fit des essais partout, ou pour imiter ou pour varier ce procédé.

« C'est surtout en partant de l'idée fondamentale, que le degré de température auquel se condensaient les vapeurs aqueuses était insuffisant pour condenser les vapeurs alcooliques, qu'on fit le plus de tentatives. Les appareils construits par Édouard Adam étaient immenses et très-coûteux ; on chercha à en réduire les dimensions et à les mettre à la portée du plus grand nombre.

« Isaac Bérard, du Grand-Gallargues (département du Gard), produisit peu de temps après un appareil plus simple, qui obtint la préférence sur celui d'Adam. Au lieu de coiffer la chaudière d'un chapiteau, comme on le pratiquait anciennement, il la surmonta d'un cylindre, dont l'intérieur est divisé en compartiments qui communiquent entre eux par de petites ouvertures; les vapeurs qui s'élèvent du vin en ébullition sont transmises dans ces *chambres*, où elles se dépouillent d'une portion aqueuse, qui se rend dans la chaudière par le moyen de conduits, et les vapeurs alcooliques passent dans un condensateur cylindrique qui plonge dans un bain d'eau; ce condensateur est divisé intérieurement par des diaphragmes en lames de cuivre, qui en font quatre à cinq *chambres* communiquant entre elles par des ouvertures; de sorte qu'on peut à volonté les laisser parcourir toutes par la vapeur avant qu'elle arrive au serpentin, on la renvoyer au serpentin après qu'elle a passé par deux ou trois. Les vapeurs se déphlegment de plus en plus en traversant les chambres, de sorte que lorsqu'elles se sont ensuite condensées dans le serpentin, l'alcool marque 36 à 38°; tandis que si l'on dirige les vapeurs dans le serpentin sans les faire passer dans les chambres du condensateur, l'alcool marque de 20 à 25°, ceux intermédiaires s'obtenant en faisant parcourir aux vapeurs plus ou moins de chambres.

« L'appareil de Bérard parut si simple et si avantageux qu'il fut généralement adopté : Édouard Adam en attaqua l'auteur comme contrefacteur; des procès dispendieux, qu'il fut forcé de soutenir contre Bérard et beaucoup d'autres, le détournèrent de ses occupations; et cet homme, à qui on doit presque l'art de la distillation, est mort de chagrin et dans un état voisin de la misère. »

Pour compléter l'étude physique de la distillation, nous emprunterons à M. Claudel (*Formules, etc.*) les principes de la méthode à employer pour calculer les éléments de l'application de la chaleur aux alambics; les dimensions des fourneaux, chaudières, etc.; la dépense de combustible nécessaire pour distiller un certain poids d'un liquide donné, dans l'unité de temps.

Les dimensions des chaudières dépendent de la quantité de vapeur à former dans un temps donné, de la température d'ébullition du liquide, de sa chaleur latente de vaporisation, et de sa chaleur spécifique, ainsi que de celle du résidu. La quantité de combustible à brûler, déduite de ces éléments, entraîne les dimensions convenables de la cheminée et de la grille.

1er *exemple*. — Soit à vaporiser, en une heure, 150 kilog. d'alcool pur, à la température primitive de 0°.

La température d'ébullition de l'alcool, sous la pression atmosphérique 0m,76 étant 78°,10, sa capacité spécifique 0,622 et sa chaleur latente de vaporisation 207, la quantité de chaleur, pour en vaporiser 1 kilog., est :

$$78{,}40 \times 0{,}622 + 207 = 256 \text{ calories},$$

c'est-à-dire les $\frac{4}{10}$ environ de celle nécessaire pour vaporiser 1 kilog. d'eau, 1 kilog. de houille vaporisant, dans la pratique, 6 kilog. d'eau, vaporisera donc au moins (à une plus basse température) $6 \times \frac{10}{4} = 15$ kilog. d'alcool.

Un mètre carré de surface de chauffe suffisant pour vaporiser 15 à 20 kilog. d'eau, il suffira donc pour $15 \times \frac{10}{4} = 38$ à $20 \times \frac{10}{4} = 50$ kilog. d'alcool. En admettant 38 kilog., les 150 kilog. d'alcool exigeront donc $\frac{150}{38} =$ 4me,95 de surface de chauffe, et la quantité de houille brûlée sera $\frac{150}{15} = 10$ kilog.

On suppose ici que l'alcool n'est chauffé que par l'action directe de la combustion, tandis que dans les alambics la liqueur à distiller est amenée à une température très-peu inférieure à son point d'ébullition par la condensation des vapeurs, c'est-à-dire que la quantité $78{,}40 \times 0{,}622 = 49$ calories, n'exige aucune dépense de combustible. Dans la pratique donc, les chiffres ci-dessus doivent être modifiés dans le rapport de $\frac{49}{256} = 0{,}19$, c'est-à-dire qu'un kilog. de houille vaporisera 17k,83 d'alcool, qu'une surface de chauffe de 4 mètres carrés sera suffisante pour évaporer en une heure 150 kilog. d'alcool en brûlant 8k,01 de houille.

2e *exemple*. — Soit à distiller en une heure 500 litres de vin dans lequel les quantités d'alcool et d'eau sont dans le rapport de 1 à 22,80. L'expérience prouve que, pour obtenir presque tout l'alcool, il faut vaporiser les 0,22 de la masse totale, ce qui donne 110 litres d'une liqueur composée de 21 litres d'alcool et 89 litres d'eau.

La quantité de houille à brûler est alors :

0,792 étant la densité de l'alcool; pour vaporiser $0{,}792 \times 21 = 46{,}63$ kilog. d'alcool :

Dépense de la houille. . . .	$\frac{46{,}63}{15} =$	1k,11
Pour vaporiser les 89 k. d'eau.	$\frac{89}{6} =$	14k,83
Pour élever à 100° les 390 kil. de résidu (1 kil. de houille produisant 6 kil. de vapeur ou 650 × 6).	$\frac{100 \times 390}{650 \times 6} =$	10k,00
Total.		25k,94

Nous avons vu plus haut, en parlant de l'alcool pur, que la condensation des vapeurs par le liquide frais procurait une économie de 0,19; il est facile de reconnaître par le second exemple que l'économie devient bien plus considérable quand on opère sur des substances moins pures devant laisser un grand résidu. Il est évident qu'en faisant marcher le liquide en sens inverse des vapeurs pour les condenser, comme dans l'appareil d'Adam et dans celui de Cellier-Brumenthal décrit à l'article ALAMBIC, on économisera la chaleur nécessaire pour chauffer le résidu, soit, dans l'exemple ci-

dessus, 10 kilog., plus la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer jusque vers 90 degrés l'eau vaporisée, soit 1/7 de 650 degrés, soit 2k,10; l'économie sera donc de 12k,10, soit près de 50 p. 100 de la chaleur qu'il faudrait dépenser si on opérait la condensation par l'eau qui serait rejetée au dehors, comme on le faisait autrefois.

Condensation des vapeurs. — On peut admettre 1° que pour une même vapeur, la quantité condensée par une même surface est proportionnelle à la différence entre la température de la vapeur et celle de l'air ou de l'eau qui sert de réfrigérant; c'est sur cette loi que repose la méthode de déplacement de la chaleur, l'avantage que l'on trouve à faire marcher en sens inverse le corps refroidissant et la vapeur; 2° que pour des vapeurs différentes, les quantités condensées, pour une même surface et pour un même excès de température, sont en raison inverse des quantités de chaleur contenues dans un même poids de vapeurs.

Tableau de la quantité de vapeur d'eau condensée en une heure par un mètre carré de surface de quelques matières en contact avec l'air à 15 degrés, et l'eau à 20 ou 25 degrés.

NATURE DES SURFACES.	VAPEUR D'EAU CONDENSÉE PAR l'air à 15°.	l'eau à 20 ou 25°.
Fonte de 5 à 6 millimètres d'épaisseur	1k,80	
Cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur	1k,40	1k,07
Fer-blanc	1k,07	
Tôle.	1k,82	
Verre.	1k,76	

A l'aide de ces tableaux et des deux lois qui précèdent, on déterminera facilement la quantité d'une vapeur quelconque qui sera condensée par des surfaces métalliques, pour un excès de température donné.

DISTILLATION, ALCOOL DE BETTERAVE, etc. Matthieu de Dombasle, dès 1834, avait prévu que la betterave, traitée par macération, deviendrait un jour la plante par excellence pour la production de l'alcool dans les exploitations rurales. La maladie de la vigne et les prix élevés de l'alcool qui en ont été la conséquence naturelle, ont réalisé cette prédiction déjà ancienne. Les guerres de l'empire avaient doté la France de la fabrication du sucre indigène; une autre calamité, la maladie de la vigne, aura doté notre pays d'une industrie agricole d'une haute importance, la fabrication de l'alcool de betterave, naturalisée désormais dans un grand nombre de fermes.

Le développement rapide de cette industrie nouvelle nous oblige à revenir sur les procédés particuliers qui lui sont propres, bien que les principes généraux de l'alcoolisation aient été développés aux mots ALAMBIC, ALCOOL, DISTILLATION, FERMENTATION.

« On croit en général, à l'étranger, dit M. Liebig dans ses *Lettres sur la chimie*, que les agriculteurs allemands distillent les pommes de terre dans l'unique but de produire de l'alcool, mais c'est là une erreur; ils ne distillent qu'en vue d'engraisser leurs bestiaux avec plus d'économie. »

Cette remarque si juste de M. Liebig convient aux betteraves aussi bien qu'aux pommes de terre; elle s'applique à la France aussi bien qu'à l'Allemagne. Le haut prix momentané des alcools a déterminé la création de nos distilleries de betteraves; mais l'emploi de leur résidu à la nourriture du bétail sera la cause de leur conservation et de leur développement progressif dans les fermes. C'est à ce point de vue surtout qu'elles offrent un intérêt sérieux et durable, et qu'elles méritent particulièrement un examen attentif.

On sait que l'amidon, les fécules, le sucre cristallisable et plusieurs autres substances se transforment facilement en sucre incristallisable ou en glucose, et que ces dernières substances, par la fermentation, donnent naissance à de l'acide carbonique, qui se dégage, et à de l'alcool qui reste dans la liqueur, dont il est facile de le séparer ensuite par la distillation. Il est inutile de revenir sur le détail de ces opérations, on rappellera seulement qu'un équivalent de sucre cristallisable $C^{12}H^{11}O^{11}$, tel qu'il existe dans la betterave, se transforme en alcool absolu $C^4H^6O^2$ et acide carbonique CO^2, en vertu de la réaction suivante :

$$C^{12}H^{11}O^{11} + HO = 4\,CO^2 + 2\,C^4H^6O^2$$

ou en nombres :

$$\underbrace{12\times6+11\times1+11\times8}_{\text{sucre}}+\underbrace{1+8}_{\text{eau}}=\underbrace{4\,(6+2\times8)}_{\text{acide carbon.}}+\underbrace{2\,(4\times6+6\times1+2\times8)}_{\text{alcool absolu}}$$

ou encore

Sucre cristallisable.	171	donnent	Alcool absolu. .	92
Eau	9		Acide carboniq.	88
	180			180

Ainsi, 171 parties de sucre cristallisable fournissent théoriquement 92 parties d'alcool absolu. Par conséquent 100 kilogr. de sucre donnent :

	En poids.	En volume à la temperature de 15°. litres.
Alcool absolu . .	53k,80	67,67
Alcool à 90° cent.	62k,78	75,19
— 80°	73k,17	84,59
— 60°	103k,19	112,78
— 50°	126k,69	135,34
— 40°	161k,22	169,17
— 30°	217k,89	225,56

Cette table serait facile à compléter pour tous les degrés de l'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac. Ses différents termes s'obtiennent en repassant, par le calcul, de la densité correspondante à chaque degré de l'alcoomètre, à la composition en poids du mélange, précaution que l'on néglige souvent à tort dans les calculs de cette espèce. Il est donc très-facile de déterminer la proportion d'alcool à un degré donné que peuvent fournir des betteraves dont la richesse en sucre a été mesurée à l'aide de l'un des moyens indiqués à la fin de l'article SUCRE. En comparant le rendement pratique au rendement théorique ainsi calculé, on se rend facilement compte de la marche de la fabrication et du plus ou moins grand degré de perfection du procédé que l'on emploie.

Les méthodes proposées et employées pour transformer en alcool le sucre que renferme la betterave sont extrêmement nombreuses. On ne saurait ici les énumérer toutes; il suffira d'étudier d'abord, avec certains détails, le procédé dont l'usage est aujourd'hui de beaucoup le plus répandu dans les fermes, et de donner ensuite quelques indications rapides sur d'autres procédés, faciles à comprendre après cette première étude.

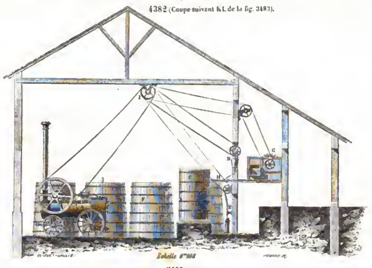
Les procédés d'alcoolisation appelés à se répandre dans les fermes doivent toujours être d'une application facile, n'exiger qu'un matériel relativement peu considérable, ne nécessiter que le degré d'attention que l'on peut demander à des ouvriers ruraux, et surtout laisser des résidus très-convenables pour la nourriture du bétail.

Le procédé de M. Champonnois réalise ces diverses conditions d'une manière remarquable. Il comporte quatre opérations principales : 1° le nettoyage et le coupage des betteraves; 2° la macération de la betterave coupée dans la vinasse, ou résidu d'une distillation précédente; 3° la fermentation du liquide sucré obtenu par la seconde opération; 4° la distillation du liquide fermenté.

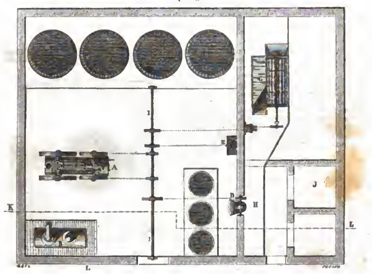
On va décrire ces opérations en prenant pour exemple la disposition d'une distillerie d'importance moyenne montée à la ferme de la Gaudinière, par M. Decauville de Petit-Bourg.

Lavage. — La betterave, apportée des silos ou des magasins où on la conserve, est jetée dans le laveur que l'on voit en G (fig. 3182 et 3183). Cet appareil, bien connu d'ailleurs, se compose d'un cylindre formé

3182 (Coupe suivant KL de la fig. 3183).



3183 (Plan).





A Locomobile. — B Appareil de distillation, composé d'une chaudière cylindrique à foyer tubulaire intérieur, surmontée

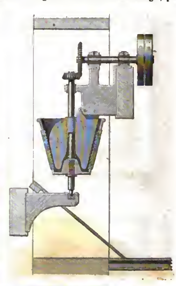
d'une colonne de rectification et du système ordinaire de serpentins et de chauffe-vin — C, C Cuves de macération. — D Coupe-racines. — H Plancher de service du coupe-racines, où s'accumulent les betteraves lavées ; au-dessous, fosse à mélanger les pulpes. — E Pompes servant à élever les vinasses dans les cuviers macérateurs, à les faire passer d'un cuvier dans le suivant, et enfin à les envoyer après la macération dans les cuves de fermentation. — F Cuves de fermentation. — G Laveur. — I Arbre de couche recevant le mouvement de la locomobile A et le transmettant au laveur G, au coupe-racines D, aux pompes E, à la machine à battre M (fig. 3483), et aux autres machines de grange de la ferme situées dans un bâtiment voisin. — J Dépôt des mélanges de pulpes pour la nourriture du bétail.

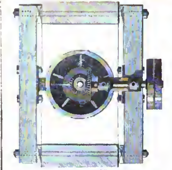
de tringles en bois ou en fer, tournant autour d'un axe légèrement incliné, et plongeant à moitié dans une caisse en bois remplie d'eau que l'on renouvelle de temps en temps. Ce cylindre a $0^m,60$ à $0^m,80$ de diamètre et $2^m,50$ à $3^m,50$ de longueur. Les tringles fixées sur des tambours montés sur l'arbre en fer, laissent entre elles des intervalles de $0^m,01$ à $0^m,02$ de largeur. Le cylindre fait environ 20 tours par minute. Les betteraves, versées dans la trémie située à la partie supérieure du cylindre, le parcourent dans toute sa longueur, en se frottant les unes contre les autres, et se nettoyent ainsi de la terre adhérente à leur surface. A l'extrémité inférieure du cylindre, une surface héliçoïdale montée sur le même arbre élève les betteraves et les rejette en dehors sur le plancher placé près du coupe-racines D.

Découpage.—On employait dans les anciennes distilleries le coupe-racines à disque ordinaire pour découper les betteraves en cossettes. Cet instrument présentait plusieurs inconvénients. Le disque était toujours plus ou moins gauche, son centrage n'était point parfait, de sorte que certains couteaux agissant trop et d'autres pas assez, les fragments de betteraves étaient plus ou moins inégaux. D'un autre côté, la poussée contre le disque des betteraves jetées sur le plan incliné déterminait des frottements inutiles, qui absorbaient une assez grande quantité de force et hâtaient la détérioration de l'appareil.

De très-grands perfectionnements ont été apportés à cette machine. La figure 3484 indique la forme du coupe-racines employé maintenant dans toutes les distilleries et dont l'usage ne laisse rien à désirer. Cet instrument se compose essentiellement d'un vase en fonte, en forme de tronc de cône, monté sur un arbre vertical en fer auquel on peut imprimer une vitesse de 200 à 400 tours par minute. Ce vase en fonte, qui forme le corps du coupe-racines, porte huit ouvertures étroites, en forme de lumière de rabot, dirigées suivant les arêtes du tronc de cône. Chacune de ces ouvertures est garnie intérieurement d'un couteau à dents, comme ceux des anciens coupe-racines à disques. Une plaque de forte tôle, fixée au support, descend dans la capacité du tronc de cône, en laissant entre ses bords et la surface décrite par les couteaux un jeu de 4 à 5 millim. Les betteraves jetées dans le coupe-racines s'appuient sur les deux faces de cette plaque de tôle et sont soumises à l'action des couteaux qui les partagent en cossettes de $0^m,005$ à $0^m,010$ de largeur et de $0^m,003$ à $0^m,004$ d'épaisseur. Les cossettes sortant par les ouvertures en lumière de rabot et tombent sur le plan incliné placé au-dessous, qui les conduit sur le plancher des cuves de macération.

Les cossettes, en sortant du coupe-racines, seraient projetées par la force centrifuge à une assez grande distance de la machine ; pour éviter cet inconvénient, on enveloppe l'appareil d'une cage sans fond en tôle ou en bois, dont le surface est placée à $0^m,15$ ou $0^m,20$ de l'instrument. Cette enveloppe a été supprimée dans la figure pour laisser voir plus complétement les organes essentiels du mécanisme principal. Il est clair que ce coupe-racines peut être monté sur un bâtis isolé en bois ou en métal. Mais il est généralement préférable de l'installer, comme l'indique la figure, dans une baie pratiquée dans le mur qui sépare la salle de la distillerie proprement dite de la pièce servant de dépôt et où se fait le lavage. Inutile d'ajouter d'ailleurs que la transmission du mouvement à l'arbre vertical, qui a lieu dans la figure à l'aide d'une roue d'angle, peut





3485.

être disposée de toute autre manière mieux appropriée, dans chaque cas particulier, à la disposition du local et du moteur.

Le coupe-racines que représente la figure peut couper environ 900 kilog. de betteraves par heure ; il exige une force de 2 chevaux tout au plus.

Macération. — Dans les premières distilleries montées par M. Champonnois, les cuviers où s'effectuait la ma-

cération des cossettes de betteraves par la vinasse étaient de petite dimension; on était obligé de les vider souvent, d'employer de la vinasse très-chaude, qu'il fallait même réchauffer pendant la durée du lavage systématique que l'on était obligé d'employer pour arriver à un épuisement complet de la masse sucrée. M. Champonnois a reconnu depuis qu'il était beaucoup plus simple d'augmenter la capacité des cuviers, d'accroître, par conséquent, la durée du contact du liquide avec la betterave. On arrive ainsi à simplifier la main-d'œuvre et à réaliser des économies de combustible, en évitant des pertes de chaleur. Il serait inutile d'indiquer, par conséquent, l'ancien système de macération avec les petits cuviers; on se bornera à décrire les procédés les plus récents et les plus perfectionnés.

La vinasse, sortant à 100° de l'appareil distillatoire, traverse un appareil où sa température s'abaisse à 75° environ : la chaleur ainsi abandonnée sert à commencer l'échauffement des liquides à distiller. En sortant de cet appareil, la vinasse est conduite à la surface d'un des cuviers de macération rempli des cossettes de betteraves, trempant depuis 3, 4 ou 6 heures, selon la marche adoptée, dans le liquide d'une opération précédente. Ce liquide déplace, pour 100 parties de cossettes, 125 à 150 parties de jus qui est conduit à la cuve à fermentation.

On soutire par un robinet de fond la vinasse dont on vient de parler, et on la remonte, à l'aide d'une pompe, dans un des autres cuviers que l'on vient de remplir de cossettes fraîches. La macération s'effectue dans cette seconde cuve, d'où on extrait, quelques heures plus tard, comme on vient de le dire, le jus qui est conduit à la cuve à fermentation.

Au commencement de la campagne, alors qu'on n'a pas encore de vinasse, on effectue les premières macérations avec de l'eau chaude jusqu'à ce qu'on ait rempli une cuve de fermentation; le roulement s'établit alors régulièrement et continue comme on vient de l'expliquer.

Lorsque la vinasse a été écoulée d'une cuve à macération dans la cuve à fermentation, on ouvre un large trou d'homme, ménagé dans le bas de la cuve à macération, et on en extrait immédiatement la pulpe, pour la mélanger avec les menues pailles ou autres matières fourragères qu'il convient d'y ajouter, comme on l'expliquera plus loin.

Le volume de vinasse à employer et la température à laquelle on l'introduit dépendent de la température de l'atelier et de celle des betteraves; il faut s'arranger pour que le jus arrive à la cuve à fermentation entre 16 et 17° centigrades.

L'addition de l'acide sulfurique aux cossettes de betteraves a lieu au moment du remplissage de la cuve à macération, en les arrosant couche par couche avec de l'eau contenant 1/10 ou 1/20 de son poids d'acide sulfurique. Quelquefois cet arrosage se fait sur le plancher même du coupe-racines avec une pomme d'arrosoir fixée à l'extrémité d'un tube flexible communiquant avec un réservoir d'eau acidulée. La proportion d'acide sulfurique à employer par 100 kilogr. de betteraves dépend de la qualité des racines et de différentes autres circonstances. On la détermine par expérience. Elle varie de 0,002 à 0,006 du poids des cossettes.

Fermentation. — Le jus sortant des cuviers macérateurs est conduit, comme on l'a dit, aux cuves de fermentation C. La continuité de cette opération était indispensable à obtenir pour la rendre régulière et facile à conduire. Ces conditions, longtemps difficiles à réaliser, s'obtiennent aujourd'hui avec une remarquable facilité. Voici comment on procède. On détermine la fermentation dans la première cuve de jus sucré obtenu au commencement de la campagne à l'aide de la levûre de bière. Quand la fermentation est bien établie, on fait couler la moitié du liquide contenu dans la première cuve dans la deuxième, puis on fait arriver en filet continu, dans chacune des cuves, les jus sucrés obtenus des macérations successives. La fermentation s'entretient ainsi dans les deux cuves jusqu'à ce qu'elles soient remplies. On laisse alors refroidir la première pendant douze ou vingt-quatre heures pour distiller la liqueur alcoolique qu'elle contient, puis on fait écouler la moitié du contenu de la deuxième cuve dans la troisième et on fait arriver régulièrement le jus sucré dans ces deux cuves jusqu'à ce qu'elles soient remplies. On laisse refroidir la deuxième cuve et on partage en deux le contenu de la troisième, et on continue ainsi indéfiniment.

La température des cuves en fermentation se maintient entre 22 et 26°, le dégagement de l'acide carbonique est parfaitement régulier.

On trouve au fond de chaque cuve, quand on la vide, un dépôt boueux, riche en principes azotés, que l'on verse dans la chaudière de l'alambic, et dont les éléments se retrouvent, par conséquent, dans les vinasses qui servent à la macération et par suite dans la pulpe elle-même qui doit servir d'aliment au bétail.

On abat la mousse qui s'élève quelquefois sur les cuves avec trop d'abondance en agitant avec un balai un peu de dégras à la surface; si la fermentation n'est pas régulière, on ajoute un peu d'acide sulfurique.

Distillation. — Le liquide vineux, contenant 3 à 5 pour 100 d'alcool, que renferme chaque cuve fermentée, est élevé, à l'aide d'une pompe, dans le réservoir de l'appareil de distillation. Cette dernière opération ne présente aucune particularité; on trouvera tous les renseignements relatifs à sa conduite et aux appareils nécessaires à l'article ALAMBIC. On remarquera seulement que l'on peut employer des appareils de distillation chauffés directement ou par la vapeur d'une chaudière spéciale, servant en même temps à l'alimentation de la machine motrice. Cette dernière disposition est généralement adoptée dans les établissements importants. Dans les petites distilleries de ferme, dont le moteur est un manége ou une locomobile, on adopte plus habituellement la première disposition.

On peut organiser le travail d'une distillerie d'une manière continue, en ayant deux postes d'ouvriers, ou en travaillant le jour seulement. Dans tous les cas, les dimensions de l'alambic règlent celles des cuves de fermentation, et celles-ci le volume des cuviers de macération. Avec le matériel de l'usine représenté par les figures 3482 et 3483 on peut traiter 10,000 à 12,000 kilog. de betteraves par vingt-quatre heures de travail.

Les renseignements qui précèdent suffiraient à la rigueur pour établir le compte de la fabrication de l'alcool de betterave dans une ferme. Cependant, pour fixer les idées, nous reproduisons dans le tableau ci-après le compte de la distillerie de Trappes, publié d'une manière si complète par M. Dailly, dans son remarquable rapport à la Société centrale d'agriculture sur les distilleries de betteraves.

L'alcool a été fabriqué et vendu à l'état de flegmes marquant, en moyenne, 48°,50. Les dépenses de main-d'œuvre, pour chaque opération, étaient les suivantes :

Transport des betteraves des silos au laveur, 1 ouvrier à 1 fr. 50 c.	1 fr.	50 c.
Lavage, 1 enfant, à 1 fr. 25 c.	1	25
Découpage et aide au macérateur, 1 ouvr.	2	»
Macérations et soins aux fermentations, 1 ouvr à 2 fr. 50 c.	2	50
Distillation, 1 ouvrier à 3 fr..	3	»
Nettoyages et travaux divers	0	57
Total pour 3,840 kil, de betteraves.	10 fr.	82 c.

DÉPENSES DE LA DISTILLERIE DE TRAPPES. — EXERCICE 1854-1855. Traitement de 484,600 kil. de betteraves ayant donné lieu à 126 opérations.	TOTAL.	Par opération.	Par 1,000 kil. de betteraves
Achat de betteraves { Total . . . . . 484,600 k. / Par opération. 3,846 k } à 24 fr. les 1,000 k.	fr. 11,630 40	92 30	24 »
Mise en silos	260 »	2 06	0 53
Main-d'œuvre : pour transport des silos au laveur, lavage, découpage, macération, fermentation, distillation, nettoyages.	1,364 15	10 82	2 82
Combustible { Distillation / Macération } { Total. . . . . 18,200k, » / Par opération . . . 144k, » / Par 1,000 k. better. 37k,55 } à 40 fr. les 1,000 kil.	728	5 77	1 50
Acide sulfurique { Total. . . . . . . 620k, » / Par opération. . . . 4k,92 / Par 1,000 k. better. 1k,24 } à 20 fr. les 100 kil. .	124 »	0 98	0 25
Savon noir, 132 kil. à 0 fr. 70 c. l'un.	92 40	0 73	0 19
Levûre, 30 kil. à 1 fr. 20 c. l'un.	36 »	0 28	0 07
Fûts pour transport des flegmes	226 »	1 79	0 47
Force motrice	422 »	3 34	0 87
Machines, usure	313 60	2 48	0 64
Bâtiments	50 50	0 40	0 10
Transport des flegmes	116 80	0 92	0 24
Éclairage.	180 »	1 42	0 37
Direction.	290 »	2 30	0 60
Loyer	125 »	0 99	0 25
Assurance	64 »	0 54	0 13
Patente et impôts directs.	100 »	0 79	0 20
Impôts indirects	8 60	0 07	0 01
Frais généraux.	80 80	0 64	0 16
Contributions à dépenses ferme.	200 »	1 58	0 41
Amende pour un manquant de 58 litres d'alcool	58 40	0 46	0 12
Total.	16,470 35	130 63	33 98
Amortissement et bénéfices.	6,585 90	52 35	13 63
Total général.	23,056 25	182 98	47 56
Le produit a été :			
Alcool absolu { Total. . . . . 17,911l,97 / Par opération. . . . . 142l,15 / Par 1,000 k. de better. 36l,90 } à 105f,02 l'hectol.	18,814 85	149 30	38 81
Pulpes { Total. . . . . 353,700k, » / Par opération. . . . . 2,807k, » / Par 1,000 k. de better. 729k,80 } à 12 fr. les 1,000 kil. .	4,244 40	33 68	8 75
Total général	23,056 25	82 98	47 56

La distillerie de M. Dailly a coûté d'établissement :

Appropriation des bâtiments.	1,886 50
Fourniture et pose de l'appareil (n° 2).	11,145 80
Brevet de M. Champonnois	3,000 00
	16,032 30

Les perfectionnements apportés aux procédés, depuis l'époque où ce compte a été dressé, ont permis de réduire la main-d'œuvre et les frais de combustible d'une manière sensible, comme on peut en juger par le compte suivant de la distillerie de la ferme de Villacoublay, récemment publié par M. Rabourdin, dont tous les agriculteurs connaissent la belle exploitation.

Le matériel de la distillerie de Villacoublay est le même que celui de l'usine représentée par les figures 3182 et 3183, seulement la locomobile est remplacée par un manége. Pendant la campagne 1858-1859, qui vient de finir, on traitait par 24 heures 10.800 kil. de betteraves. Les cuviers macérateurs, au nombre de quatre, peuvent contenir chacun 900 kilog. de cossettes. Il faut environ une heure pour vider la pulpe d'un macérateur et le remplir de cossettes fraîches, de sorte que chaque macération dure de 6 à 7 heures et que l'on doit remplir un nouveau cuvier de 2 heures en 2 heures.

Les dépenses réunies des 12 heures de travail de jour et des 12 heures de travail de nuit se partagent de la manière suivante :

1 contre-maître distillateur	5f00
1 distillateur en second.	3,00
4 ouvriers à 2 f. 50 c. et 2 à 2 fr. . . .	14,00
4 chevaux pour le manége	12,00
400 kilog. de charbon.	16,00
24 litr. d'acide sulfurique.	8,40
Levûre.	0,60
Éclairage et graissage.	3,00
Amortissement, intérêt et entretien . .	32,00
Total.	94,00

Le produit a été de

594 litr. d'alcool à 46 fr. 95 c. l'hectolit., déduction faite des frais de futailles et de transport à l'usine de rectification, ci.	278f88
7,775 k. de pulpe à 10 fr. les 1000 k.	77,75
Total.	356,63
Déduisant les frais	94,00
Il reste	262,63

Ce qui porte le prix de vente de la betterave à la distillerie à 24 f. 30 les 1,000 kilog. environ. Le poids des betteraves récoltées à Villacoublay, en 1858, a été

de 35,000 kil. par hectare, ce qui donne un revenu brut de 850 fr. 80 c. pour cette surface, et un bénéfice de 181 fr., d'après le calcul de M. Rabourdin. Le produit, en 1857, avait été de 40,000 kil. de betteraves par hectare, mais on n'en avait retiré que 4 litres d'alcool pour 100 kilog. de betteraves au lieu de 5l,5 obtenus en 1858-1859. Aussi le résultat financier avait-il été moins avantageux.

On peut, par ces exemples, en tenant compte du prix de revient de la betterave, du prix de l'alcool et de la valeur de la pulpe, calculer à l'avance les chances de succès d'une distillerie. Les pulpes figurent pour une somme considérable dans le produit de la fabrication. Leur valeur s'accroît beaucoup quand les fourrages sont chers, et l'on voit alors, comme cela a lieu en ce moment, les distilleries établies dans les fermes continuer à travailler avec bénéfices, malgré le bas prix des alcools, tandis que les distilleries industrielles, achetant les betteraves et n'utilisant pas elles-mêmes les pulpes, ne pourraient réaliser que des pertes. La distillation de la betterave est donc une industrie véritablement agricole, et c'est à ce point de vue qu'elle est appelée à rendre de très-grands services.

La valeur de la pulpe, comme aliment pour le bétail, a été l'objet d'assez longues discussions. On reconnaît aujourd'hui que mélangée avec des menues pailles, de la paille hachée, des siliques ou même des tiges de colza coupées, elle forme une excellente nourriture que les animaux recherchent avec empressement et dont ils se trouvent fort bien. On fait le mélange de la pulpe et des matières sèches qu'on lui ajoute à la sortie des cuviers de macération, et on le laisse en tas pendant un ou deux jours. L'humidité de la pulpe imprègne les pailles, une légère fermentation s'établit dans la masse dont la température s'élève à 30 ou 40°.

On ne saurait entrer ici dans de longs détails sur l'emploi de la pulpe comme aliment. On dira seulement que l'expérience a appris que la pulpe du procédé Champonnois possède, à égalité de poids, à peu près la même puissance nutritive que la betterave d'où elle provient, mais que cette matière, en partie cuite par la macération, légèrement fermentée et donnée tiède au bétail, paraît lui être beaucoup plus favorable que la betterave à l'état naturel.

L'analyse d'un mélange de pulpe, de siliques et de paille de colza employé, à Villaconblay, par M. Rabourdin, m'a donné :

Eau	85,60
Matière organique, non compris l'azote	11,50
Azote	0,33
Cendres	2,57
	100,00

D'après cette composition, 348 kilog. de ce mélange équivaudraient à 100 kilog. de foin normal dosant 1,15 kilog. d'azote, résultat que la pratique confirme d'une manière complète. Plusieurs essais analogues me portent à penser que la valeur, comme aliment, de mélanges de pulpes et de fourrages secs, peut s'obtenir, avec assez d'exactitude, par la détermination de leur richesse en azote.

Le procédé que l'on vient d'indiquer n'est pas le seul employé à la fabrication de l'alcool de betterave. Quelques mots suffiront pour indiquer le principe de deux autres méthodes d'un emploi moins général que la première, mais cependant dignes d'intérêt.

Lorsque le prix des alcools s'éleva si brusquement il y a quelques années, les fabricants de sucre de betterave durent songer à abandonner la fabrication du sucre pour celle de l'alcool. Pour eux, le problème à résoudre était d'effectuer la transformation de leurs usines aux moindres frais possibles. M. Dubrunfaut s'occupa spécialement de cette question et la résolut d'une manière fort satisfaisante. Dans les distilleries où l'on opère par ce procédé, la betterave est râpée et pressée comme s'il s'agissait de faire du sucre; mais le jus obtenu, au lieu d'être déféqué, filtré, etc., est conduit directement, après une addition convenable d'acide sulfurique, dans de grandes cuves où s'opère la fermentation. Le vin obtenu est ensuite distillé par les procédés ordinaires. Une dépense de 25 à 30,000 francs suffit pour transformer en distillerie une sucrerie pouvant traiter 80 à 100,000 kilog. de betteraves par jour.

La pulpe obtenue dans ces conditions est beaucoup moins bonne pour le bétail que les cossettes du procédé Champonnois, puisqu'elle se trouve dépouillée de la plus grande partie des sels et des matières solubles que le jus entraîne et qui restent dans les vinasses.

Un dernier procédé fort ingénieux pour l'extraction de l'alcool de betterave est dû à un fabricant bien connu, M. Leplay. Il consiste à couper les betteraves en cossettes, comme dans le procédé Champonnois, à les arroser de 3 à 4 pour 1,000 d'acide sulfurique et à plonger les cossettes elles-mêmes, renfermées dans une enveloppe convenable, dans une cuve en fermentation. La fermentation se propage dans toute la masse, et le sucre se transforme en alcool dans l'intérieur même des cellules de la betterave. Quand cette transformation est opérée, on retire les cossettes de la cuve et on les remplace par des cossettes fraîches qui éprouvent les mêmes phénomènes de fermentation, de sorte qu'un même pied de cuve fait fermenter un volume pour ainsi dire indéfini de cossettes.

Pour extraire l'alcool renfermé dans les cossettes après la fermentation, M. Leplay emploie un appareil très-simple, également de son invention. C'est un cylindre vertical assez élevé, partagé par des diaphragmes percés de trous sur lesquels on dispose les cossettes. En chauffant cette colonne de cossettes par de la vapeur introduite dans la partie inférieure de l'appareil, on sépare l'alcool, comme on le fait dans les colonnes ordinaires des appareils de rectification.

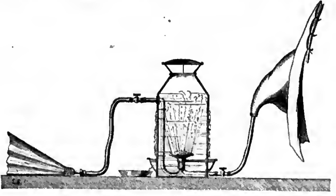
Plusieurs autres procédés beaucoup moins avantageux que les précédents ont été proposés pour l'extraction de l'alcool de betterave. Il est inutile de les mentionner ici, puisque la pratique ne les a point acceptés. Mais il convient de signaler quelques plantes propres à la fabrication de l'alcool et employées à cet usage dans ces dernières années.

Le topinambour se prête avec avantage à la fabrication de l'alcool. On opère comme pour la betterave ou la pomme de terre.

La racine d'asphodèle peut servir à faire de très-bon alcool, mais c'est une industrie nécessairement très-bornée. Cette plante croît lentement et ne mérite pas les soins de la culture. On l'arrache dans les terres incultes où on la rencontre, mais les frais de transport ne permettraient pas de la réunir à bas prix et en grande quantité sur un point déterminé. Quoi qu'il en soit, voici comment on opère dans les fabriques qui se sont organisées sur quelques points de l'Algérie. La racine débarrassée de la terre est écrasée par son passage entre des cylindres cannelés en fonte. La pulpe est soumise à l'action de presses à vis pour en extraire le jus. Celui-ci, abandonné à lui-même dans de grandes cuves en bois, à la température de 25 à 30°, entre en fermentation et donne un jus d'où on extrait l'alcool avec un appareil ordinaire de distillation. La racine donne de 50 à 70 pour 100 de jus, suivant son état de dessiccation. Ce jus fournit de 5 à 9 pour 100 d'alcool à 90°, ou une quantité correspondante de flegmes.

La fabrication de l'alcool de sorgho est extrêmement facile. Il suffit d'écraser la canne entre deux cylindres pour en extraire le jus. Celui-ci, soumis à la fermentation, donne un vin dont la distillation extrait immédia-

des appareils distillatoires. Ces appareils n'ayant de valeur que si on emporte des provisions de combustible, ne pouvant donner d'eau distillée qu'en proportion du gratuitement pourront fournir, la nuit, des quantités suffisantes pour la consommation des équipages peu nombreux des navires à voiles du commerce.



3186.

combustible consommé, la diminution de poids qui en résulte, dont il faut déduire le poids de l'appareil, n'est pas très-considérable. Mais ce système a surtout l'inconvénient que le combustible peut manquer aussi bien que l'eau. Il n'en serait pas de même d'un système qui produirait de l'eau douce par travail mécanique. Posons quelques chiffres pour analyser un semblable système.

Supposons qu'à une température de 10°, on chasse à travers de l'eau à l'état de bulles, pour multiplier les surfaces, un mètre cube d'air : saturé, il renfermerait 9g,70 d'eau. Si donc on suppose l'air parfaitement sec, le travail mécanique qui pourra chasser cet air à travers une couche liquide d'épaisseur suffisante pour qu'il se sature parfaitement, entraînera la vaporisation de 9g70 d'eau, ou un refroidissement de $0,636 \times 9,70 = 6^c,19$ calories, ou enfin, si on opère sur 50 kilog. d'eau, $\frac{6}{50}$ $= 0,12$ de degré. A la mer, l'air étant toujours chargé d'eau, le refroidissement sera moins rapide que nous ne supposons ci-dessus, la quantité d'eau évaporée sera moindre par mètre cube, mais, par suite, un autre effet viendra se produire, qui permettre de recueillir une quantité d'eau égale à celle enlevée à l'état de vapeur. En effet, le refroidissement fera bientôt atteindre le point de rosée, le point où la vapeur d'eau contenue dans l'air se précipitera en gouttelettes sur les parois du vase métallique, dans lequel se fera l'opération précédemment décrite, et en quantité précisément égale à la chaleur consommée pour la vaporisation de l'eau qui satura l'air.

L'appareil à l'aide duquel on peut réaliser le système que nous venons de décrire, est donc bien facile à combiner, mais ne donnerait que des résultats bien insignifiants. En effet, le kilogramme d'eau renferment à l'état de vapeur 636 calories, le refroidissement produit par le travail d'un homme employé à chasser de l'air ne correspondrait qu'à 2 kilog. d'eau par jour. Mais si l'on fait intervenir le travail gratuit du vent qui pousse le navire, si l'on prend sur le centre d'une voile le point de départ du conduit de l'air en mouvement qui exerce en général une pression plus que suffisante pour pouvoir traverser une épaisseur de quelques centimètres d'eau, alors des appareils plus grands et fonctionnant

Nous figurons donc en croquis (*fig.* 3186) la disposition approchée d'un semblable appareil, et nous espérons que quelque constructeur de nos ports fera l'essai d'un semblable système, recommandant d'employer de grandes surfaces métalliques, du côté du vent, inclinées de manière à être toujours en contact avec les bulles d'air qui sortent de l'eau.

La partie mue à main, le soufflet représenté dans la figure doit servir à mettre en train, à atteindre le point de rosée; la manche réunie à la voile par un tuyau de caoutchouc, à entretenir l'opération par l'effet d'une soupape à lèvres en caoutchouc qui termine le tuyau, pour empêcher la rentrée de l'eau, et d'une espèce de pomme d'arrosoir percée de trous très-fins, pour faire sortir l'air à l'état de bulles.

DURETÉ. Le moyen employé en minéralogie pour apprécier la dureté des pierres, en les classant entre celles qu'elles rayent et celles par lesquelles elles sont rayées, est évidemment insuffisant de tout point. Il n'y entre pas l'élément mesure qui peut seul donner une précision, utile, à l'appréciation du caractère de la dureté qui est souvent très-important, notamment lorsqu'il s'agit de la résistance à des frottements répétés, qui est bien plus en raison de la dureté que de la ténacité.

Un premier essai a été fait en Angleterre par MM. Crace-Calvert et Richard Johnson, dans une voie logique où il reste beaucoup à faire.

Ils emploient une pointe d'acier de 7 millim. de longueur, 1m,15 de largeur au sommet et 5 à la base, et la chargent lentement jusqu'à ce que la pénétration atteigne 3 millim. ou que le corps se rompe. Le nombre de kilogrammes employé est pris pour mesure de la dureté du métal employé. L'enfoncement est évidemment trop grand pour que la ténacité du corps expérimenté ne vienne pas influer beaucoup sur les résultats ainsi obtenus ; c'est plutôt la résistance à la pénétration que la dureté que l'on a ainsi, ce que prouve la similitude des chiffres trouvés pour l'acier et le fer forgé.

Nous reproduirons ici les chiffres déterminés pour les métaux et les alliages; c'est surtout pour ces derniers composés que ce genre de recherches est important.

	Poids employés.	Dureté rapportée à celle de la fonte représentée par 1000.
	Kilog.	
Fonte grise du Strafford-shire (à l'air froid). . .	2176,32	1000
Acier	2085,64	958
Fer forgé	2062,97	918
Platine	816,12	375
Cuivre.	655,16	301
Alumine.	589,12	271
Argent	453,40	208
Zinc.	398,99	183
Or.	362,72	167
Cadmium	235,77	108
Bismuth.	113,35	52
Étain	58,94	27
Plomb.	34,00	16

ALLIAGES.

Nous ferons suivre, pour les alliages, les duretés trouvées de celles calculées d'après la composition de l'alliage et les duretés des métaux constituant déterminées par la série d'expériences rapportées dans le premier tableau ci-dessus.

ALLIAGES DE ZINC ET DE CUIVRE.

FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100. Cuivre.	Zinc.	POIDS employés.	DURETÉ obtenue. La fonte = 1000.	DURETÉ calculée. La fonte = 1000.
			kil.	kil.	kil.
Zn Cu⁸	82,95	17,05	929,47	127,08	280,83
Zn Cu⁴	79,56	20,44	1020,15	468,75	276,82
Zn Cu³	74,48	25,52	1020,15	468,75	276,82
Zn Cu²	66,06	33,94	1029,22	472,92	264,04
Zn Cu	49,32	50,68	1343,96	604,17	243,33
Cu Zn²	32,74	67,26	Rupture à 680 k. Pointe pas entrée.		
Cu Zn	24,64	75,36	Rupture à 680 k. Pointe entrée de 0m,0005.		
Cu Zn⁴	19,57	80,43	Rupture à 906k,80. Pointe entrée un peu plus.		
Cu Zn⁵	16,30	83,70	Rupture à 770k,80. Pointe entrée de 0m,002.		

CUIVRES JAUNES DU COMMERCE

DÉSIGNATION d'alliages du commerce et proportions.		POIDS.	DURETÉ. Celle de la fonte = 1000.
		kil	
Gros coussinet.	Cuivre. 82,05 Étain.. 12,82 Zinc. . 5,43	1224,18	562
Robinet. . . .	Cuivre. 80,00 Étain. . 10,00 Zinc. 10,00	1632,24	750
Laiton.	Cuivre. 64,00 Zinc. . 36,00	1133,50	520
Tuyau.	Cuivre. 80,00 Étain . 5 Zinc. . 7,50 Plomb. 7,50	748,10	343

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ÉTAIN.

FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100. Cuivre.	Étain.	POIDS employés.	DURETÉ obtenue. La fonte = 1000.	DURETÉ calculée. La fonte = 1000.
Cu Sn⁵	9,73	90,27	181,36	88,33	51,67
Cu Sn⁴	11,86	88,14	208,56	95,81	59,56
Cu Sn³	15,21	84,75	226,70	104,17	68,75
Cu Sn²	21,21	78,79	294,90	135,42	84,79
Cu Sn	34,98	65,02	Rupture à 317k,38. Pointe entrée à moitié.		
Sn Cu²	48,17	51,83	Rupture à 362k,72. Pas de pénétration.		
Sn Cu³	61,79	38,21	Rupture à 362k,72 en petits morceaux.		
Sn Cu⁴	68,27	31,73	Rupture à 589k,42. Pénétration de moins de 0m,001.		
Sn Cu⁵	72,90	27,10	L'alliage s'est comporté comme le précédent.		
Sn Cu¹⁰	84,32	15,68	1994,96	916,66	257,08
Sn Cu¹⁵	88,97	11,03	1682,10	772,92	270,83
Sn Cu²⁰	91,49	8,51	1391,93	639,58	277,70
Sn Cu²⁵	93,17	6,83	1310,30	602,08	279,16

ALLIAGES DE ZINC ET D'ÉTAIN.

Les alliages de zinc et d'étain se comportent, dans les expériences faites par les auteurs, comme de simples mélanges, c'est-à-dire que la dureté réelle est la même que leur dureté calculée. Ce résultat paraît extraordinaire après les résultats trouvés par M. Koechlin pour la résistance de l'alliage à parties égales de zinc et d'étain notamment, dont la grande résistance, bien supérieure à la moyenne déduite de celle des métaux composants, n'est pas douteuse. Il est à présumer qu'il faut des conditions de chauffage et de refroidissement particulières pour produire la combinaison ou éviter la séparation des deux métaux, qui n'ont pas été remplies par les expérimentateurs.

ALLIAGES DE PLOMB ET D'ANTIMOINE.

FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100. Plomb.	Antimoine.	POIDS employés.	OBSERVATIONS.
			kil.	
Pb Sb⁵	24,31	75,69		Rupture à 362k,7. Pénétration 0m,0025.
Pb Sb⁴	28,64	71,36		Rupture à 408 k. Pénétration de 0m,0027 sous la charge de 362k,72.
Pb Sb³	34,86	65,14	396,72	
Pb Sb²	44,53	55,47		Rupture à 272 k. Pénétration de 0m,0027 sous la charge de 226k,70.
Pb Sb	61,61	38,39	226,70	
Sb Pb²	76,32	23,68	174,55	
Sb Pb³	82,80	17,20	140,55	
Sb Pb⁴	86,52	13,48	136,02	
Sb Pb⁵	88,92	11,08	133,75	

ALLIAGES DE PLOMB ET D'ÉTAIN.

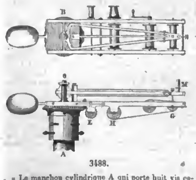
FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100.		POIDS employés.	DURETÉ obtenue.	DURETÉ calculée.
	Plomb.	Étain.		La dureté de la fonte de fer = 1000.	
			kil.		
Pb Sn⁵	26,03	73,97	90,68	41,67	23,96
Pb Sn⁴	36,57	69,43	87,60	40,62	23,58
Pb Sn³	36,99	63,01	72,54	32,33	22,83
Pb Sn²	46,82	53,18	56,67	26,04	20,09
Pb Sn	63,78	36,22	45,34	20,83	17,77
Sn Pb²	77,89	22,41	56,67	26,04	18,12
Sn Pb³	84,09	15,91	61,21	28,42	1723
Sn Pb⁴	87,57	12,43	56,67	26,04	1708
Sn Pb⁵	89,80	10,20	49,87	22,92	16,77

DYNAMOMÈTRE. L'importance des dynamomètres, de la mesure du travail mécanique dans les diverses circonstances qui peuvent se présenter, augmente chaque jour; ce que prouve la multiplication des dispositions que l'on invente incessamment, et, en effet, la perfection des instruments de mesure doit suivre celle des constructions qu'ils permettent seuls de comparer. Comment juger, en effet, si un appareil est supérieur à un autre, si on ne peut mesurer la quantité de travail mécanique consommée par chacun d'eux pour effectuer une même opération? Nous nous efforcerons de suivre cet utile progrès en complétant notre premier travail.

MANIVELLE DYNAMOMÉTRIQUE. — Lorsqu'il s'agit de petites machines mues à bras, le système à employer de préférence est toujours la manivelle de M. Morin. Nous en emprunterons une description très-lucide à une notice publiée par M. Tresca, professeur de mécanique au Conservatoire des Arts et Métiers.

Les figures 3487 et 3488 représentent cet instrument vu sous deux aspects différents.

3487.



3488.

« Le manchon cylindrique A qui porte huit vis calantes se fixe solidement à l'aide de ces vis sur une portée octogonale disposée sur l'axe même de la machine qu'il s'agit d'essayer. Le dynamomètre se compose de deux bâtis en fer superposés; l'un, rectangulaire, encadre pour ainsi dire toutes les autres pièces (fig. 3487) et ne se voit sur la figure 3488 que par son épaisseur; l'autre, triangulaire, peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à son plan et fixé au bâti principal. Si l'appareil se bornait à ces deux pièces, cette dernière portant à son extrémité le manche M de la manivelle, lorsqu'un effort viendrait s'exercer sur lui, le bâti triangulaire seul prendrait un mouvement de rotation, mais une lame de ressort représentée dans la figure 3488, encastrée par sa partie la plus épaisse, et embrassée par deux couteaux à son autre extrémité, s'oppose à cette indépendance, et c'est par son intermédiaire que se communique le mouvement. Ce ressort s'écarte d'autant plus de sa position normale que l'effort exercé sur lui est plus considérable, et si l'on sait à l'avance quelle est la grandeur de cet écartement pour chaque grandeur d'effort, on aura la mesure de celui-ci par l'observation de celle-là.

« Supposons qu'un crayon placé à l'extrémité du ressort soit mobile avec lui, tandis qu'un autre reste invariablement à la place que ce premier crayon occuperait si le ressort ne fléchissait pas; supposons que ces deux crayons s'appuient à la fois sur une même feuille de papier entraînée d'un mouvement régulier suivant une ligne parallèle à la direction primitive du ressort, chacun d'eux tracera une ligne et l'écartement de ces deux lignes sera en chaque point la mesure exacte de l'écartement du crayon mobile, et par conséquent de la flexion du ressort. Voyons comment se produit le mouvement du papier.

« Au-dessus du manchon A, par lequel le dynamomètre est fixé sur l'arbre de la machine en expérience, est une couronne dentée B qui glisse à frottement doux dans une gorge pratiquée dans ce manchon; cette couronne peut être rendue absolument fixe, comme nous l'indiquerons un peu plus loin; dès lors un petit pignon d'angle que l'on aperçoit en C tourne sur sa denture quand la manivelle travaille; ce pignon porte une vis sans fin qui fait mouvoir une roue dentée E, portant sur son axe, et en dehors du bâti, une petite bobine ou fusée cylindrique, sur laquelle un fil s'enroule à mesure qu'il se déroule de la fusée conique montée sur un axe parallèle.

« Le reste de la disposition est facile à concevoir, trois bobines F, G, H, sont placées sur trois axes parallèles placés en travers du bâti; une feuille de papier primitivement enroulée sur la première à l'aide d'une petite manivelle spéciale (fig. 3488), embrasse la bobine de l'extrémité G et vient s'attacher à la troisième H, montée sur l'axe même de la fusée conique: à mesure que cette fusée tourne, le papier est entraîné dans le sens de la flèche et s'enroule sur cette troisième bobine.

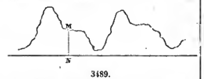
« Quant à la fusée conique, elle est nécessaire, parce que le diamètre de la bobine, à mesure que le papier s'enroule, s'augmente de toute l'épaisseur des couches successives de papier, et pour un tour du dynamomètre la quantité de papier qui passerait de la bobine E à la bobine H irait toujours en augmentant; la longueur des traces dont nous parlerons tout à l'heure ne serait plus en rapport avec le chemin ou les arcs décrits par la manivelle. C'est à obtenir pour chaque tour cette proportionnalité désirable qu'est destinée la fusée conique. Au commencement de l'opération, le fil est enroulé sur le petit diamètre, la bobine la fait tourner plus vite pour une même longueur; à la fin, au contraire, le fil se déroule sur le diamètre le plus gros, la bobine tourne plus lentement, et cette modification continuelle dans la vitesse de son mouvement de rotation compense l'accroissement de vitesse du papier, qui résulterait de l'augmentation du diamètre de la bobine par l'application successive de nouvelles couches de papier.

« Quant à la double trace qu'il s'agit de produire, ce sont deux petits pinceaux qui en sont chargés; l'un mobile, fixé à la pointe du ressort en P, près de la manivelle; l'autre fixe, à une petite traverse à l'extrémité du bâti quadrangulaire.

« Au commencement de l'expérience, il faut s'assurer que les deux traces se superposeraient exactement si

aucun effort n'était exercé sur le ressort : le mieux est d'en faire la vérification sur l'appareil au repos en faisant seulement avancer le papier; s'il arrivait que la coïncidence ne fût pas parfaite, deux écrous, permettent de rappeler à la position convenable et d'y assurer sans crainte de variation le pinceau fixe que porte la traverse. L'écritoire se compose d'un tube de cuivre vissé dans un écrou que porte cette traverse en son milieu, de manière à pouvoir approcher à volonté la pointe du pinceau du papier sur lequel il doit faire un trait régulier et continu. Ce tube muni d'un bouchon est rempli d'encre de Chine un peu épaisse, le pinceau est d'abord chargé d'encre, et la capillarité se charge ensuite de lui amener celle contenue dans le réservoir.

« Nous voyons déjà, par cette description, que deux traits seront obtenus : l'un sera une ligne droite provenant du pinceau fixe, l'autre une courbe plus ou moins sinueuse due au pinceau du ressort. La figure 3489



3489.

est un calque de cette double trace. Les convexités de la courbe correspondent aux plus grandes flexions du ressort, aux plus grands efforts par conséquent; les points de plus grand rapprochement, au contraire, se rapportent aux efforts les plus faibles.

« Nous voyons qu'à chaque tour il existe un point où l'effort exercé dans le sens du ressort est de beaucoup le plus considérable. Il correspond à la position dans laquelle le tourneur de roue donne son *coup*, au point auquel il est le plus commodément placé pour agir; on sait qu'il en est ainsi vers la portion supérieure de la course de la manivelle, l'action du tourneur diminue ensuite (la courbe se rapproche de la ligne droite) jusqu'au bas de cette course, l'effort est là à son minimum, parce que le tourneur ne peut plus agir qu'en tirant, et il n'atteint sa plus grande valeur qu'au haut du tour suivant.

« Tous les ressorts, dans certaines limites, prennent des allongements ou des flexions proportionnelles aux efforts qui s'exercent sur eux; M. Morin a construit ses lames de manière à obtenir la sensibilité la plus grande, c'est-à-dire la plus grande déviation pour un même effort. Si, sous ce rapport, on compare deux lames de même section au point d'encastrement, l'une rectangulaire dans toute sa longueur, l'autre, au contraire, affectant la forme des solides d'égale résistance, on observe que la flexion est relativement double dans ce dernier cas. Aussi M. Morin a-t il choisi cette dernière forme; ses ressorts sont plus épais au point d'encastrement, plus minces à leur extrémité, et cet amincissement suit une certaine courbure, celle d'une parabole, sur les deux faces du ressort.

« Il faut, pour chaque ressort, déterminer expérimentalement la flexion qui correspond à 1 kilog.; dans le dynamomètre à manivelle du Conservatoire, chaque écart de 1 millimètre 1/10 correspond à 1 kilogr., en telle sorte que pour avoir la valeur de l'effort exercé lorsque le pinceau mobile a marqué le point M de la courbe des efforts, il suffit de mesurer le longueur MN qui est de 9 millimètres; divisant cette longueur par 1 millim. 1/10, nous trouvons pour quotient 8,18 qui est la valeur en kilogrammes de l'effort correspondant.

« Cette proportionnalité n'existe toutefois qu'autant que le ressort n'est pas *forcé*, mais la disposition même des bâtis ne lui permet jamais de prendre une courbure trop grande; lorsqu'un effort trop considérable est exercé, le bâti mobile trouve un point d'appui dans la traverse qui porte l'axe O sur lequel il tourne.

« Pour terminer notre description, disons encore comment la couronne dentée peut être à volonté rendue immobile pendant que la manivelle tourne; une vis à tête saillante B est fixée sur la couronne mobile, mais ne pénètre pas jusqu'au fond de la gorge qui reçoit cette couronne; elle est destinée à former arrêt au moment où une pièce mobile, convenablement coudée pour ne point gêner la manœuvre, vient *butter* contre elle. A partir de ce moment, la couronne ne peut plus se mouvoir et le papier se déroule comme nous l'avons indiqué.

« On comprend qu'il n'est pas nécessaire d'avoir constamment une trace pendant toute la durée d'un long travail qui exigerait un développement de papier beaucoup trop considérable; on se contente, en général, d'obtenir la courbe des efforts au commencement, vers le milieu et vers la fin d'une opération; pour interrompre le tracé, il suffit de rendre à la couronne sa liberté en dégageant le buttoir coudé qui forme arrêt pour la vis; aussitôt la couronne est entraînée par frottement dans le mouvement commun, le pignon C ne tourne plus sur la denture de la couronne, et le papier n'est plus ni enroulé ni déroulé. Il suffit ensuite de rapprocher le buttoir pour rétablir à volonté le mouvement du papier et produire un nouveau tracé.

« Quant à la masse, placée à gauche, à l'extrémité du dynamomètre, ce n'est qu'un contre-poids destiné à l'équilibrer par rapport à son axe. »

Dynamomètre L. Palier (de Rouen). — Le dynamomètre à poids, imaginé par White, que nous avons représenté figure 684, article DYNAMOMÈTRE, a été appliqué dans quelques filatures, malgré son imperfection résultant de ce que cette espèce de balance de force ne peut donner de mesure que dans l'état d'équilibre, qu'autant que rien ne varie dans le moteur ou dans l'opérateur, état qui, dans la pratique, ne saurait longtemps exister, et il fallait la nécessité d'un moyen de contrôler les résistances de machines analogues à l'aide d'un moyen simple pouvant être mis entre les mains de tous les ouvriers, pour qu'on ait appliqué assez souvent un appareil aussi imparfait.

M. Palier (de Rouen) l'a perfectionné notablement, au point de vue des applications à en faire à la filature qui en a grand besoin, par une disposition qui prolonge beaucoup l'état d'équilibre. A cet effet, il remplace l'espèce de bras de romaine par une came, en forme de spirale d'Archimède, sur laquelle s'enroule une bande de cuir supportant un plateau dans lequel on place des poids. Le rayon de cette courbe, qui joint son centre de rotation au point où la bande de cuir s'en détache, étant variable en raison de la position des roues différentielles, le bras du levier variant, on voit que l'état d'équilibre sera permanent dans une grande étendue.

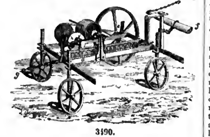
M. Palier a joint à cet appareil un totalisateur à roulettes, genre de compteur qui ne convient pas pour la pratique des ateliers; fort peu exact d'ailleurs, comme il a été mainte fois constaté; mais, s'il n'a pas résolu complétement le problème de la construction d'un dynamomètre propre à la pratique des ateliers, moins délicat que les appareils traceurs à ressort, qui ne sont applicables qu'aux recherches scientifiques, il a, nous pensons, beaucoup avancé la solution, qui nous semblerait complète en réunissant la disposition qu'il a imaginée à celle du compteur à engrenages, déjà donnée un premier article DYNAMOMÈTRE de cet ouvrage. Ce n'est pas un mince service rendu à l'industrie qui a

grand besoin d'un appareil de ce genre satisfaisant à tous égards.

APPLICATION DES DYNAMOMÈTRES.

Les difficultés de l'application des dynamomètres aux divers cas de la pratique nécessitent souvent la transformation, la modification des ces appareils pour les rendre pratiques. Nous en citerons quelques exemples.

Dynamomètre de Bentall pour évaluer la résistance des charrues. — La traction des chevaux attelés au palonnier *f* (fig. 3490), s'exerce sur un châssis qui comprime



3490.

le ressort en spirale *a*. Ce ressort entraîne la roulette J et l'éloigne du centre du disque *h*, mis en mouvement à l'aide d'une courroie qui passe sur une roue montée sur un des axes des roues du train. Les tours de cette roulette et aussi du tambour *d*, mis en mouvement par une vis sans fin mue par l'axe sur lequel cette roulette peut glisser, sont donc proportionnels à cette pression du ressort. D'autre part, un crayon pouvant tracer sur ce tambour se déplace parallèlement à son axe, proportionnellement au chemin parcouru, par l'effet d'une vis taillée sur l'arbre du disque *h*, sur laquelle l'extrémité de la tige qui porte le crayon forme écrou. Si donc on place un papier sur le tambour, le crayon y tracera des lignes qui mesureront par leurs ordonnées circulaires la tension du ressort ou la résistance, et par leurs ordonnées parallèles aux génératrices le chemin parcouru. La combinaison des deux mouvements fera tracer une diagonale indiquant les variations du tirage de la ligne devenant de plus en plus parallèle à l'axe du tambour que le tirage diminue et inversement.

Ce dynamomètre a le défaut des instruments à roulettes, et dans les expériences faites à Trappes, lors de l'Exposition universelle de 1855, pour comparer les diverses charrues, l'on a reconnu que ses indications n'étaient pas exactement proportionnelles aux efforts, parce que la tension des efforts n'est transmise à l'appareil enregistreur qu'à l'aide d'une roue qui ne se meut que par un faible frottement; les erreurs sont surtout notables dans le cas où les charrues n'exigent que peu de tirage.

L'excellence de la disposition du train interposé entre les chevaux et la charrue, tant au point de vue de la rapidité qu'à celui de la précision des observations, est également ressortie de ces mêmes expériences; aussi a-t-on obtenu un excellent instrument en montant sur ce train le dynamomètre traceur de M. Morin, qui, sans cela, est difficilement applicable aux charrues.

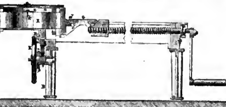
Dynamomètre propre à mesurer la résistance des tissus. — La plupart des instruments dynamométriques employés jusqu'ici pour essayer la solidité des tissus présentent des défauts graves qui en rendent la pratique presque nulle. Les causes suivantes contribuent à fausser leurs indications :

L'aiguille, qui devrait accuser exactement la force nécessaire à la rupture et rester invariable lorsque cette rupture a lieu, prend, au contraire, un mouvement oscillatoire très-prononcé dû à la rapidité avec laquelle le ressort dynamométrique reprend sa position initiale.

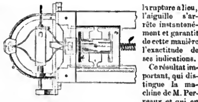
La surface du cadran est, en général, insuffisante; le rapprochement des degrés rend les erreurs faciles. Le mode d'attache des échantillons à expérimenter est si défectueux qu'il devient une cause de rupture.

Enfin la forme même de ces instruments les rend incommodes et susceptibles de fréquents dérangements.

L'appareil dynamométrique que représentent les figures 3491 et 3492 est à l'abri de ces reproches; il est d'un service facile et sûr. Le mode d'attache n'a aucune influence sur la rupture; l'échantillon soumis à l'épreuve enveloppe, à chaque extrémité, une petite réglette en métal qui s'engage dans des mortaises obliques dont l'une est pratiquée dans une pièce fixe reliée au ressort dynamométrique, et l'autre dans une pièce mobile au moyen d'un écrou et d'une vis; l'inclinaison de ces mortaises leur fait jouer le rôle de coins, et la solidité des attaches est proportionnelle à l'effort auquel on soumet l'étoffe. La disposition et le développement du cadran sont tels que les moindres variations intéressantes à constater peuvent être parfaitement saisies. Quelque brusque et considérable que soit l'action sous laquelle



3491.



3492.

la rupture a lieu, l'aiguille s'arrête instantanément et garantit de cette manière l'exactitude de ses indications.

Ce résultat important, qui distingue la machine de M. Perreaux et qui en fait le mérite fondamental, est obtenu par une disposition des plus ingénieuses que la figure de l'instrument fait comprendre; il repose sur l'emploi d'un volant qui se meut rapidement, poussé par un cliquet, lorsque la rupture se produit et qui remplit parfaitement le rôle de modérateur.

Enfin, comme l'élasticité des tissus est un des éléments constitutifs de leur valeur, l'inventeur a eu soin de munir l'appareil d'une règle en cuivre graduée, destinée à indiquer l'élasticité proprement dite et l'extensibilité de l'étoffe.

Le nouveau dynamomètre de M. Perreaux, exécuté avec soin, a été apprécié déjà par la plupart de nos

 DYNAMOMÈTRES.

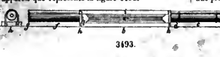
grandes administrations. On comprend aussi l'utilité que les industriels pourront également en tirer; ils pourront s'assurer que les réductions en usage, c'est-à-dire les rapports entre la quantité de chaîne et de trame, par unité de surface, ne répondent pas toujours aux résultats attendus.

Les étoffes, qui devraient présenter la même résistance et la même élasticité dans tous les sens, se comportent rarement de la même manière dans la direction de la chaîne et de la trame; tantôt c'est l'influence de l'une, tantôt celle de l'autre qui prédomine dans la même espèce d'étoffe. Ces résultats une fois constatés, il sera facile au fabricant intelligent de modifier, avec une précision mathématique, ses dispositions au tissage, de façon à obtenir une résistance égale dans tous les sens.

DYNAMOMÈTRE OPTIQUE OU CHROMATIQUE.

M. Wertheim a su rendre pratique un système entièrement différent des précédents pour mesurer l'action des forces, qui peut trouver des applications toutes nouvelles et permettre des expériences d'un grand intérêt. Les dynamomètres de Poncelet et Morin, très-convenables pour mesurer un travail, ne permettent pas de mesurer les pressions qui s'exercent entre deux corps solides sans chemin appréciable parcouru; aussi, sans un appareil nouveau, ne peut-on rien savoir sur l'effet utile des machines les plus usuelles, telles que presses, étaux, balanciers, systèmes de leviers, etc. C'est cette lacune que comble le dynamomètre chromatique, nouvelle utilisation industrielle des phénomènes du passage de la lumière à travers les corps transparents, qui a fourni une si curieuse application à une question de chimie, à la saccharimétrie optique.

L'appareil de M. Wertheim repose sur la mesure de l'action qu'exerce sur la lumière transmise un corps transparent et homogène, tiré ou pressé, suivant une seule direction. Fresnel a démontré le premier que cette action mécanique fait naître des phénomènes de double réfraction avec la lumière ordinaire, ou, ce qui est la même chose, des phénomènes de coloration avec la lumière polarisée. Ceci posé, voici la construction de l'appareil que représente la figure 3493.



3493.

Sa partie essentielle est une plaque de verre, parfaitement transparente dans le sens de sa longueur, de dimensions telles qu'elle puisse supporter des pressions très-considérables, et noircie sur tout son pourtour, à l'exception des deux points au travers desquels on veut viser. Cette plaque de verre *a*, garnie sur ses deux surfaces de plaques parallèles en caoutchouc volcanisé et en carton, est placée entre deux plateaux en fonte bien dressés et suffisamment épais; l'inférieur de ces plateaux *b* porte deux tubes en laiton, dont la surface intérieure est noircie. Le tube objectif contient un nicol *d* à son extrémité la plus rapprochée de l'observateur, et porte à l'autre bout une plaque de porcelaine blanche *e*, qui est mobile dans deux sens perpendiculaires, et qui, par conséquent, peut toujours être placée de manière à être bien éclairée. L'autre tube *f* porte un prisme bi-réfringent *g*. Ces deux tubes sont montés à frottement dur dans des coulisses *h* adaptées à la plaque inférieure, de manière à ce que, en employant des plaques de verre de différentes épaisseurs, on puisse toujours placer leurs axes sur le prolongement l'un de l'autre et à la moitié de la hauteur du verre. La plaque de fonte supérieure *i* est parfaitement libre et ne sert qu'à transmettre les pressions au verre.

Les sections principales du nicol et du prisme bi-réfringent sont parallèles entre elles et font un angle de 45 degrés avec la verticale.

Maintenant on n'a qu'à placer cet appareil peu volumineux entre les deux surfaces sur lesquelles la pression doit s'exercer : quelle que soit la nature des forces appliquées, quelles que soient les pertes qu'elles aient éprouvées avant de produire leur effet utile, la mesure de cet effet sera toujours donnée par la seule inspection des couleurs qui se présentent dans les deux images.

L'appréciation des couleurs est la partie délicate de ces observations. Une fois obtenue, on peut en déduire par le calcul la valeur de la pression, mais il est bien plus simple de tarer directement l'instrument, comme l'a fait M. Wertheim, c'est-à-dire de faire peindre les couples de couleurs que l'on voit successivement dans l'instrument et d'inscrire à côté les valeurs correspondantes de P pour deux plaques de verre, dont l'une est destinée à mesurer de faibles pressions, tandis que l'autre supporte les pressions les plus considérables.

Il importe de prévenir que ces expériences offrent une seule difficulté, qui est d'éviter que le verre ne subisse aucune flexion transversale; car celle-ci ferait apparaître, de ce seul fait, des bandes colorées et toute détermination deviendrait impossible. Cette cause perturbatrice se présente infailliblement toutes les fois qu'on se sert de plaques minces; il est impossible de rendre les surfaces entre lesquelles la pression s'exerce assez complétement planes et parallèles pour qu'il ne s'y produise rigoureusement qu'un effet de compression. Il faut donc que le verre lui-même offre assez de résistance à la flexion pour que l'effet de celle-ci devienne insensible; c'est à quoi l'on arrive en donnant à la plaque une épaisseur (hauteur) de 2 à 3 centimètres.

On se rend facilement compte des dimensions qu'il faut donner à une pareille plaque pour la rendre propre à mesurer une force d'une grandeur donnée. Le verre à glaces supporte une pression de plus de 3 kilog. par millimètre carré; une plaque carrée, de 20 centimètres de côté, pourra donc, sans inconvénient, être soumise à une pression de 120,000 kilog. Mais longtemps avant d'avoir atteint cette limite, les deux images seront devenues complétement blanches par suite de la grande différence de marche entre les deux rayons, cause que la théorie assigne à la différence de coloration.

On trouve ainsi, comme le montre le tableau ci-après, que la plus grande différence de marche dont on puisse se servir est de $0^{mm},002$, la charge correspondante étant de 535 kilog. pour la surface des verres de la presse d'essai, soit 13 à 15,000 kilog. pour 400 centimètres carrés, limite qu'on ne pourrait dépasser qu'en employant une plaque plus large.

Mais sans avoir recours à une plus grande largeur, qui diminuerait en même temps la sensibilité de l'instrument, on peut augmenter sa course par un artifice très-simple. Supposons qu'on soit arrivé à une pression de 13,000 kilog., le rayon extraordinaire aura sur le rayon ordinaire une avance de 0,002. Plaçons maintenant sur le trajet des deux rayons, entre les deux prismes, en *l*, un quartz parallèle à l'axe d'une épaisseur telle, qu'étant employé seul, il produise une différence de marche de 7λ (λ, longueur d'ondulation, varie de 423 millionièmes de millimètre pour le rouge, à 620 pour le violet, moyenne 525) ou $0^{mm},004$. Le quartz est un cristal positif; donc, en ajoutant cette plaque au verre comprimé, on change le signe de la différence de marche d_2 de $-0,002$, elle devient $= +0,002$. Les

NUMÉROS d'ordre	d — en millionièmes de millimètres.	e — en millionièmes de pouces anglais.	P — CHARGE.	COULEUR de l'image O.	COULEUR de l'image E.
1	0mm	0	0	Blanc.	Noir.
2	40	0,78	10	Blanc.	Gris de fer.
3	97	1,91	24	Blanc jaunâtre.	Gris de lavande.
4	158	3,11	39	Blanc brunâtre.	Gris-bleu.
5	218	4,29	54	Jaune-brun.	Gris plus clair.
6	234	4,61	58	Brun	Blanc avec une légère teinte verte.
7	259	5,10	64	Rouge clair.	Blanc presque pur.
8	267	5,25	66	Rouge-carmin	Blanc jaunâtre.
9	275	5,41	68	Rouge-brun très-foncé, presque noir	Jaune-paille.
10	281	5,53	70	Violet foncé.	Jaune-paille.
11	306	6,02	77	Indigo.	Jaune-clair.
12	332	6,53	84	Bleu.	Jaune brillant.
13	430	8,46	110	Bleu verdâtre	Jaune orangé.
14	505	9,84	130	Vert bleuâtre	Orangé rougeâtre.
15	536	10,55	138	Vert pâle.	Rouge, chaud.
16	554	10,84	142	Vert jaunâtre	Rouge plus foncé.
17	565	11,12	146	Vert plus clair.	Pourpre.
18	575	11,32	149	Jaune verdâtre.	Violet.
19	589	11,59	153	Jaune vif.	Indigo.
20	664	13,07	183	Orangé	Bleu.
21	728	14,33	200	Orangé brunâtre	Bleu verdâtre.
22	747	14,70	205	Rouge-carmin clair. . . .	Vert.
23	826	16,26	216	Pourpre.	Vert plus clair.
24	843	16,59	224	Pourpre violacé.	Vert jaunâtre.
25	866	17,05	228	Violet.	Jaune verdâtre.
26	910	17,91	240	Indigo	Jaune pur.
27	948	18,66	250	Bleu foncé	Orangé.
28	998	19,64	263	Bleu verdâtre	Orangé rougeâtre vif.
29	1101	21,67	290	Vert	Rouge violacé foncé.
30	1128	22,20	298	Vert jaunâtre	Violet bleuâtre clair, teinte de passage.
31	1151	22,66	305	Jaune impur.	Indigo.
32	1258	24,76	334	Couleur de chair. . . .	Bleu, teinte verdâtre.
33	1334	26,26	351	Rouge mordoré.	Vert bleuâtre (vert d'eau).
34	1376	27,09	365	Violet	Vert brillant.
35	1426	28,07	380	Bleu violacé grisâtre . . .	Jaune verdâtre.
36	1495	29,43	400	Bleu verdâtre	Rouge-rose.
37	1534	30,20	410	Vert-bleu.	Rouge-carmin.
38	1621	31,91	432	Vert clair.	Carmin pourpré.
39	1652	32,52	440	Vert jaunâtre	Gris violacé.
40	1682	33,11	449	Jaune verdâtre.	Gris-bleu.
41	1711	33,68	458	Gris-jaune	Bleu verdâtre clair.
42	1744	34,33	468	Mauve.	Vert bleuâtre.
43	1811	35,65	486	Carmin	Vert-bleu clair.
44	1927	37,93	515	Gris-rouge	Gris-vert clair.
45	2007	39,51	535	Gris-bleu.	Gris presque blanc.

Les deux images se colorent successivement de toutes les couleurs des anneaux des lames minces, de la bulle de savon, l'image ordinaire prenant toujours les couleurs de la lumière transmise et l'image extraordinaire présentent les teintes complémentaires ou les couleurs des anneaux de la lumière réfléchie. Newton ayant mesuré l'épaisseur de la lame d'air qui transmet et réfléchit chacune de ces couleurs complémentaires, on devait essayer de se servir de ces mesures pour exprimer numériquement chaque teinte obtenue. On reconnaît bien qu'en effet les différences de marche entre les deux rayons sont sensiblement proportionnelles aux charges, mais le grand nombre de teintes voisines rend bien difficile l'emploi des déterminations de Newton.

Le tableau ci-dessus a été déterminé à l'aide d'une pièce très-pure de crown de Clichy (boro-silicate de zinc) qui pouvait être comprimé jusqu'à donner une différence de marche de $7 \frac{\lambda}{2}$ (λ étant la longueur d'ondulation) ; au delà de cette limite, les couleurs sont mélangées de trop de lumière blanche, et sont, par conséquent, trop pâles pour pouvoir servir à des mesures.

On a choisi, dans chaque anneau coloré, un certain nombre de teintes bien caractérisées et faciles à reproduire, et l'on a déterminé les charges qu'il faut appliquer à ce même crown pour les produire. On a pu ainsi, et avec quelques interpolations pour le calcul des chiffres, déterminer et la colonne d, qui contient en millionièmes de millimètres les différences entre les chemins parcourus par les rayons ordinaires et extraordinaires, et les épaisseurs e des lames d'air qui transmettent et réfléchissent les couleurs inscrites dans la 5e et 6e colonne. On les donne en millionièmes de pouces anglais, afin qu'on puisse immédiatement les comparer avec les mesures de Newton.



couleurs des deux images n'ont donc éprouvé aucun changement; mais en augmentant maintenant la pression, on remontera graduellement toute la série des teintes, et avec une pression de 26,000, on sera revenu à zéro. Par conséquent, et sans rien ajouter à l'appareil optique, on pourra aller de nouveau jusqu'à une double réfraction négative $\frac{7\lambda}{2}$, que l'on obtiendra avec une pression totale de 39,000 kilog., et ainsi de suite.

Un tableau des colorations et des pressions correspondantes doit être établi avec l'appareil, par le constructeur. Le tableau ci-contre, qui reproduit les déterminations obtenues par M. Wertheim avec son appareil d'essai, offre un grand intérêt en faisant bien saisir la marche du phénomène.

Applications. — M. Wertheim a fait quelques applications de cet appareil que nous rapporterons ici.

M. Wertheim a trouvé qu'avec de petits écrous qu'on ne serre qu'avec les doigts, on peut produire jusqu'à 220 kilog. de pression.

Pour décalquer une lettre avec une presse à copier ordinaire, on exerce habituellement une pression de 800 à 900 kilog.

Un grand balancier des ateliers de M. Bréguet a donné pour résultats moyens : $P = 18,98\ P' + 66,5$, P' étant la force appliquée aux bras du levier et P l'effet produit; la quantité constante 66,5, qui est indépendante de la force P', représente l'*inertie du balancier* rendue sensible, parce qu'après avoir enlevé la force P' il reste une coloration correspondante à 66,5, laquelle provient évidemment de cette inertie. On voit que cette force que l'on néglige habituellement pourrait devenir considérable, dans certains cas, pour une vitesse très-notable.

Enfin, en expérimentant sur la grande presse hydraulique, qui se trouve au Conservatoire des arts et métiers, M. Wertheim a trouvé les résultats ci-après :

PRESSIONS

d'après le dynamomètre chromatique	d'après le manomètre communiquant avec l'eau de la presse	
en kilogrammes.	en atmosphères.	en kilogrammes.
100	0,5	91
175	1,0	181
283	1,6	290
383	2,1	381
514	3,0	544
555	3,5	634
586	4,0	726
938	6,0	1,088
1,285	8,0	1,451
1,523	9,0	1,633
1,666	10,0	1,814
2,461	15,0	2,721
3,091	20,0	3,629
3,338	24,0	4,355
3,427	28,0	5,080
4,099	31,0	5,625
4,480	35,0	6,351
4,950	40,0	7,258
5,891	47,0	8,528

On voit avec quelle facilité cet instrument montre quelles grandes erreurs on commet lorsqu'on croit pouvoir négliger les frottements dans les calculs de l'effet utile de la presse hydraulique.

E

EAUX (DISTRIBUTION D'). La nécessité, pour tous les centres de population, de posséder une abondante distribution d'eau de bonne qualité est aujourd'hui généralement comprise. Non-seulement les administrateurs des grandes villes, mais encore les conseils municipaux des plus modestes communes se préoccupent d'assurer à leurs concitoyens des eaux convenables pour les usages domestiques et industriels. Depuis quelques années, les sacrifices que les villes s'imposent pour avoir des eaux pures et abondantes, donnent en quelque sorte la mesure de leur richesse et de leur degré de civilisation.

Les mêmes tendances se manifestent chez les riches propriétaires d'habitations rurales, et l'on rencontre de toutes parts des travaux, relativement considérables, destinés à amener de l'eau dans les maisons de campagne et dans les fermes isolées. Aussi les questions d'aménagement des eaux destinées aux usages domestiques, sont-elles devenues d'un intérêt général et d'une application continuelle.

Dans une ville, l'eau a plusieurs destinations; elle sert aux usages de la vie domestique, aux établissements industriels, aux lavages des rues et des égouts, et enfin comme ornement et moyen d'assainissement dans les fontaines jaillissantes et monumentales. Ces diverses applications ne réclament pas nécessairement les mêmes qualités. Aux usages domestiques doivent être réservées les eaux les plus limpides, les plus aérées, les plus fraîches et les plus pures. Des eaux moins précieuses peuvent convenir parfaitement pour les usages plus grossiers du service de nettoyage des voies publiques et des égouts.

Avant d'indiquer les moyens de se procurer de l'eau, de la réunir et de la distribuer, il convient d'étudier les qualités qu'elle doit présenter, et de faire connaître les volumes d'eau nécessaires, selon les circonstances, pour une bonne distribution publique ou privée.

§ 1. NATURE ET QUALITÉ DES EAUX.

Les eaux naturelles diffèrent beaucoup entre elles par la proportion et la nature des substances qu'elles tiennent toujours en dissolution, par leur température habituelle, leur degré de limpidité, etc. Ces diverses circonstances exercent sur leur valeur, au point de vue de leurs usages domestiques et industriels, une influence considérable, sur laquelle il ne sera pas inutile de s'arrêter ici plus longtemps que ne le font habituellement les personnes spécialement occupées des procédés techniques de distribution des eaux. Les faits nombreux que j'ai eu l'occasion de recueillir à cet égard, en examinant les échantillons d'eaux envoyées de divers pays au laboratoire des ponts et chaussées, fourniront des renseignements intéressants pour cette première partie de l'article que l'on va lire.

L'étude chimique et hygiénique des eaux a fait depuis quelques années des progrès très-réels. Les travaux de laboratoire et les enquêtes faites en France, et surtout en Angleterre, dans ces dernières années, ont

constaté un grand nombre de faits nouveaux et intéressants. Cependant, il ne faut pas le dissimuler, plusieurs questions sont loin encore d'être résolues, et il convient d'appeler sur elles l'attention des observateurs, pour hâter autant que possible les progrès de la science hydrologique, si utile au bien-être des populations.

La remarquable faculté de la race humaine de s'accoutumer aux conditions les plus diverses de nourriture et de climat, s'observe également pour l'emploi de l'eau comme boisson. Par un long usage, on s'habitue à des eaux de mauvaise qualité, comme on supporte sans se plaindre l'atmosphère infecte des grandes villes ou les inconvénients des climats froids et brumeux. Mais on doit reconnaître que le jugement des populations et des individus sur la qualité de l'eau est presque toujours juste et rapide. L'usage le plus prolongé ne pervertit point le goût à cet égard ; l'habitude la plus invétérée n'empêche jamais une population de préférer une eau de source ou de rivière de bonne qualité à une eau de puits chargée de matières salines ou organiques. Aucune amélioration urbaine n'est mieux appréciée et plus universellement applaudie que le perfectionnement de la distribution des eaux, sous le rapport de leur qualité et de leur quantité.

Les eaux renferment naturellement les éléments solubles des terrains qu'elles traversent. C'est dire qu'elles peuvent contenir en proportions variables des composés extrêmement nombreux. Dans les eaux destinées aux usages ordinaires de la vie, dont nous devons ici nous occuper à l'exclusion des eaux minérales, on ne rencontre habituellement, en quantités un peu notables, que les corps suivants : alumine, fer, chaux, magnésie, soude, potasse, ammoniaque, acides silicique, sulfurique, chlorhydrique, phosphorique, azotique, carbonique. Dans beaucoup d'eaux, on rencontre encore des traces de brome, d'iode et de plusieurs autres substances qui paraissent exercer une action puissante sur les qualités hygiéniques de l'eau, et dont l'étude, par cela même, doit être poursuivie avec une grande attention. Aux matières minérales que l'on vient de citer, s'ajoutent presque constamment, en proportions plus ou moins considérables, des matières organiques de compositions et de propriétés très-variables, mais dont l'influence sur la qualité de l'eau est toujours extrêmement fâcheuse.

Enfin, les eaux naturelles renferment, à l'état de dissolution, des quantités plus ou moins grandes de gaz oxygène, azote et acide carbonique, dont les quantités relatives doivent être prises en sérieuse considération dans l'étude des eaux.

On ne connaît pas encore, il est vrai, d'une manière précise le mode d'action sur l'économie animale de chacune des substances isolées ou mélangées, qui se rencontrent dans les eaux potables. Mais l'expérience a déjà fourni de très-nombreuses indications à cet égard, et les inconvénients de certains sels, au point de vue des usages domestiques et industriels de l'eau, sont maintenant parfaitement constatés. On connaît d'ailleurs, dès à présent, la composition chimique d'un grand nombre d'eaux, dont un long usage a permis de bien juger les qualités, bonnes ou mauvaises. L'analyse chimique d'une eau, que l'on se propose de distribuer, permet, par conséquent, ou de reconnaître la présence de substances nuisibles à tel ou tel usage particulier, ou bien de la rapprocher d'une eau analogue par sa composition, dont les propriétés sont connues, et par conséquent de prévoir par analogie, avec une certitude presque complète, les caractères qu'elle présentera. L'étude chimique détaillée d'une eau doit donc précéder tout projet relatif à sa distribution. On s'expose, en procédant autrement, aux mécomptes les plus sérieux ; c'est une précaution trop souvent négligée, que l'on ne saurait assez recommander aux ingénieurs et aux administrations publiques.

Avant de donner aucune indication générale, il est utile de montrer, par quelques exemples, la nature et la proportion des matières dissoutes dans les eaux naturelles. A cet effet, on a réuni dans un tableau, à la page suivante, l'analyse d'un certain nombre d'eaux potables. Ce tableau fournira d'ailleurs des termes de comparaison fort utiles pour l'étude de nouvelles analyses.

Les propriétés chimiques d'une eau potable sont évidemment la résultante de l'ensemble des matières qu'elle renferme à l'état de dissolution. Il serait impossible d'aborder l'étude de cette synthèse compliquée, sans étudier préalablement, comme on va le faire, l'influence spéciale de chacune des matières salines et autres qui se trouvent habituellement dans les eaux.

Il est bien entendu qu'il ne s'agit ici que des matières dissoutes ; les substances tenues en suspension dans les eaux troubles seront mentionnées plus bas à propos des moyens de filtrage.

Avant d'aller plus loin, faisons remarquer qu'il est presque toujours extrêmement difficile de dire à quel état de combinaison se trouvent dans l'eau les éléments que l'analyse en sépare. Dans les dissolutions très-étendues, comme le sont toujours les eaux naturelles même les plus chargées, le jeu des affinités diffère beaucoup de ce qu'il est dans les dissolutions concentrées sur lesquelles on opère habituellement dans les laboratoires. C'est donc seulement, en général, à l'aide d'hypothèses plus ou moins probables, que l'on groupe entre eux de la manière la plus rationnelle les bases et les acides trouvés isolément, pour indiquer la proportion des différents sels, chlorures, sulfates, etc., que l'on suppose exister dans une eau soumise à l'analyse. Les sels obtenus par l'évaporation d'une eau ne renferment évidemment que les bases et les acides contenus dans cette eau ; mais, dans le résidu solide obtenu, ces éléments peuvent être différemment groupés que dans l'eau elle-même. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple vulgaire, si l'on mélange des dissolutions de chlorure de calcium et de sulfate de soude assez étendues pour ne pas former de précipité, on obtiendra, par l'évaporation du liquide, du sulfate de chaux et du chlorure de sodium, et il serait assurément très-hasardé d'en conclure que la liqueur donnée renfermait ces deux sels. Il convient donc de donner simplement les résultats élémentaires d'une analyse d'eau, c'est-à-dire les quantités trouvées de chaque base et de chaque acide, et de laisser ensuite à chacun le soin d'en tirer les conséquences relatives au mode de groupement des molécules dans le liquide. De cette façon, les analyses faites à différentes époques et par différents chimistes deviendront beaucoup plus comparables et beaucoup plus utiles. Aussi, dans le tableau précédent, n'avons-nous fait figurer que les éléments acides ou basiques trouvés dans chaque eau examinée.

Les dissolutions très-étendues présentent un fait remarquable, c'est l'action dissolvante de certains sels les uns sur les autres qui s'explique quelquefois par l'observation précédente. Ainsi, une eau qui renferme quelques centigrammes par litre de certains sels, devient, par cela même, un dissolvant plus énergique pour d'autres matières que si elle était absolument pure. La plupart des matières organiques contenues dans les eaux exercent à un haut degré cette action dissolvante sur les matières minérales. Le phénomène qui permet à la sève d'entraîner dans le végétal les matières fixes nécessaires à la formation de son squelette, n'est pas un fait isolé. Il se reproduit dans la nature, et c'est ainsi que les eaux riches en matières organiques entraînent souvent de fortes proportions de matières minérales, qui se déposent lorsque la matière organique se trouve détruite dans le liquide par une cause ou par une autre.

DÉSIGNATION DES EAUX.	MATIÈRES SOLIDES PAR LITRE EN GRAMMES.											
	Silice.	Alumine.	Peroxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.	Soude.	Potasse.	Acide sulfurique.	Acide chlorhydrique.	Acide carbonique combiné.	Matières organiques et eau combinée.	Poids total par litre des résidus solides.
1 Source des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées)	0,006	»	»	0,004	0,002	»	0,007	0,002	0,004	0,002	»	0,024
2 Source d'Argagnon, près d'Orthez	0,038	0,002	»	0,049	0,005	»	0,020	0,020	0,008	0,033	0,008	0,183
3 Source à Combes-la-Ville (Seine-et-Marne)	0,024	0,002	»	0,183	0,015	0,027	0,027	0,079	0,003	0,112	0,109	0,535
4 Fontaine de la place d'Armes, à La Rochelle	0,006	»	»	0,181	»	0,026	0,026	0,021	0,016	0,196	»	0,466
5 Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846	0,024	0,031	0,002	0,103	0,002	0,008	0,002	0,018	0,007	0,074	»	0,254
6 Eau du puits artésien de Grenelle, 1841	0,006	»	»	0,038	0,007	»	0,026	0,004	0,006	0,052	0,003	0,143
7 Eau du Château-d'Eau de Reims, 18 juin 1849	0,002	0,001	0,004	0,092	»	0,002	0,003	0,001	0,005	0,072	0,008	0,191
8 Eau de la Vilaine, à Redon, 18 août 1846	0,001	0,001	»	0,001	0,004	0,009	»	0,012	0,006	0,001	0,074	0,100
9 Eau de la Loire à Nantes, vis-à-vis le château, 7 juill. 1846	0,005	0,004	»	0,034	0,009	0,011	»	0,004	0,007	0,030	0,022	0,117
10 Eau de l'Erdre, au déversoir de Nantes, 7 juillet 1846	0,002	0,003	»	0,046	0,010	0,024	»	0,006	0,022	0,012	0,051	0,142
11 Eau de la Maine à Clisson, le 26 juillet 1846	0,009	0,037	»	0,015	0,008	0,010	»	0,005	0,023	0,009	0,044	0,159
12 Eau du lac de Grand-Lieu, près de Bouaye, 17 juill. 1846	0,006	0,005	»	0,008	0,003	0,018	»	»	0,011	0,011	0,012	0,077
13 Eau de la Garonne à Toulouse, le 16 juillet 1846	0,040	»	0,003	0,036	0,001	0,006	0,003	0,007	0,002	0,034	0,004	0,136
14 Eau du puits de l'École normale de Rhodez, 20 décembre 1849	0,006	0,006	»	0,028	0,018	0,016	0,026	0,024	0,012	0,067	0,009	0,141
15 Eau du Doubs à Besançon, au Pont-Rivotte, 17 janv. 1845	0,016	0,002	0,003	0,107	0,001	0,005	0,002	0,003	0,004	0,086	»	0,230
16 Eau du Rhône à Genève, près des pompes, le 30 avril 1846	0,024	0,001	»	0,163	0,004	0,004	0,002	0,026	0,009	0,038	»	0,182
17 Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835	»	»	»	0,059	traces	traces	»	0,004	traces	0,044	»	0,107
18 Idem idem, le 2 mars 1839	traces	»	»	0,084	0,005	»	»	0,048	traces	0,062	0,007	0,182
19 Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846	0,019	0,002	0,006	0,082	0,002	0,009	0,001	0,014	0,004	0,062	»	0,232
20 Eau de la Toiselle (Cher)	0,010	0,021	»	0,082	traces	0,017	0,017	0,003	»	0,064	0,007	0,204
21 Source de Queven (Morbihan)	0,008	0,011	»	0,012	0,002	0,018	0,018	0,006	0,001	0,011	0,008	0,090
22 Eau prise au milieu du bois de Boulogne, juin 1856	0,003	0,006	»	0,067	0,003	0,011	0,011	0,017	0,006	0,012	0,054	0,210
23 Eau prise au milieu de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858	0,002	0,001	»	0,006	0,007	0,028	»	0,010	0,030	»	0,008	0,093

Le défaut d'espace empêche d'étendre davantage ce tableau. On trouvera d'ailleurs dans le premier volume du Dictionnaire, à l'article AGRICULTURE, les analyses des eaux qui alimentent Paris, qui le compléteront en partie. On a choisi parmi les nombreuses analyses qu'il eût été facile de réunir des eaux bien caractérisées, de propriétés faciles à vérifier, et analysées par des chimistes dont l'exactitude est bien connue. — Pour rendre ces analyses comparables, on a donné la proportion de chaque base et de chaque acide, en décomposant par le calcul les sels dont le poids est habituellement donné par les auteurs. Le résidu total par litre est exact ; s'il n'est pas toujours égal à la somme des chiffres des colonnes précédentes, cela tient ou à un élément qui ne figure pas dans ces colonnes, et qui a fait l'objet d'une recherche particulière, comme l'acide nitrique, par exemple, ou bien à ce que nous avons dû négliger les quatrièmes décimales dans nos calculs, ou enfin compter des chlorures pour des chlorhydrates.

La présence de l'acide carbonique facilite aussi la dissolution, non-seulement des carbonates terreux, en formant des bicarbonates, mais encore de beaucoup d'autres sels, notamment des phosphates et même des sulfates.

C'est encore peut-être à des phénomènes de même ordre, c'est-à-dire au mode particulier de groupement des molécules dans des liquides étendus, que l'on doit, en partie, les phénomènes relatifs à la saveur des différentes eaux naturelles, saveur très-faible à la vérité, que l'habitude empêche même souvent de constater dans sa boisson journalière, mais qu'un palais exercé distingue toujours très-bien avec quelque attention. A égalité de fraîcheur, c'est par la saveur que les eaux se distinguent. Chacun, en exprimant sa préférence pour une eau potable sur une autre, reconnaît instinctivement l'existence de cette saveur. Il est inexact de dire, comme on le fait souvent par habitude, qu'une eau n'a pas de saveur. Cette saveur est plus ou moins prononcée, plus ou moins agréable, mais elle existe toujours.

Certains sels très-sapides par eux-mêmes affaiblissent souvent la saveur d'autres sels. C'est ainsi que les eaux chargées de plusieurs matières salines sont souvent moins sapides que si elles ne renfermaient que l'un des sels qu'on y rencontre. Cet effet est très-sensible, par exemple, pour les sels de chaux et de magnésie : une eau calcaire, mélangée d'une eau magnésienne, est moins sapide que chaque liquide pris séparément.

Les alcalis communiquent en général à l'eau une saveur douce et un peu fade. Cependant, quand l'eau renferme en même temps de la silice comme dans les sources granitiques, cet effet n'est pas sensible. Les eaux sulfatées, surtout celles des terrains gypseux, ont une saveur crue et lourde fort désagréable et bien connue de toutes les personnes qui ont bu de l'eau des puits de Paris.

L'acide carbonique dissous dans l'eau, surtout quand elle renferme en même temps un peu de carbonate de chaux, communique au liquide une saveur fraîche fort appréciée. Il serait inutile d'insister davantage sur la saveur de l'eau, il suffisait d'indiquer les relations de cette propriété avec la composition chimique du liquide.

Revenons à l'examen des divers composés que l'eau peut renfermer, en suivant l'ordre dans lequel on les a d'abord énoncés.

L'*alumine* ne se rencontre, en général, qu'en très-petite quantité dans les eaux naturelles. Sa proportion, à ma connaissance, n'excède pas $0^{g},02$ par litre et souvent même on a dû peser avec l'alumine des corps d'une autre nature, phosphates, oxyde de fer, etc. L'influence de ce corps est donc peu connue et probablement très-faible.

Le *fer* ne se rencontre également qu'en fort petite quantité dans les eaux potables. Il leur communiquerait, à dose un peu forte, une saveur désagréable. Les eaux qui en renferment naturellement s'en dépouillent presque toutes par leur exposition à l'air, parce qu'il passe à l'état de peroxyde insoluble. Certaines matières organiques, dont on parlera plus loin, que l'on rencontre dans quelques eaux, renferment de petites quantités de fer qui joue dans leurs réactions remarquables un rôle essentiel, sur lequel on reviendra. Comme l'alumine, le fer dans l'eau potable paraît donc offrir peu d'intérêt ; quand il existe en dissolution en quantités notables, il rend l'eau impropre aux usages domestiques.

La chaux et la magnésie peuvent, au contraire, se rencontrer dans les eaux en proportions très-variables. L'action de ces bases est extrêmement importante, et nous devons nous y arrêter davantage. Ces bases se rencontrent dans les eaux, à l'état de carbonate dissous à la faveur d'un excès d'acide carbonique plus ou moins notable, ou combinées aux acides sulfurique, azotique ou chlorhydrique. On placera ici à la fois ce qui se rattache à l'action de la base et à celle de l'acide.

Les auteurs ont longtemps admis que l'eau était d'autant meilleure pour l'alimentation de l'homme, qu'elle renfermait moins de matières en dissolution. A cet égard, un examen plus attentif a singulièrement modifié les opinions. On admet assez généralement aujourd'hui que si les eaux trop chargées sont toujours très-mauvaises, des eaux chimiquement pures ne seraient pas les meilleures pour l'alimentation de l'homme et des animaux. Une petite quantité de carbonate de chaux, $0^{g},02$ à $0^{g},04$ par litre, une quantité correspondante d'acide carbonique, retenu plus solidement, en quelque sorte, qu'il ne le serait par l'action seule de la solubilité, paraît être une condition sinon indispensable, au moins fort utile pour la bonne qualité de l'eau. Toujours est-il que les eaux les plus réputées comme boisson présentent à peu près toutes cette composition.

On a longtemps discuté sur l'influence hygiénique de la magnésie dans les eaux potables. Il paraît bien difficile d'attribuer à cette substance les dangers que certains médecins ont cru reconnaître aux eaux qui en renferment des quantités notables. Cependant de nouvelles observations sont nécessaires à cet égard.

S'il reste encore des doutes sur les effets hygiéniques de petites quantités de chaux et de magnésie dans les eaux potables, le rôle des sels de ces deux bases pour les usages culinaires, économiques et industriels de l'eau, est au contraire très-bien connu et assez complétement étudié.

L'eau qui renferme une proportion de chaux un peu considérable devient impropre à cuire les légumes ; elle dissout mal le savon et produit sur la peau un effet désagréable que tout le monde connaît. On dit alors que l'eau est *dure*, qu'elle est *crue*. Quand ce défaut est prononcé, il rend l'eau absolument impropre aux usages domestiques et industriels, et fort désagréable comme boisson.

L'importance de ce caractère, qui donne la mesure, jusqu'à un certain point, de la qualité de l'eau, a fait rechercher des moyens rapides et exacts pour comparer, sous ce rapport, différentes eaux.

Le degré de *crudité* de l'eau (Hardness) est une expression devenue populaire en Angleterre, depuis les études intéressantes du docteur Clarck sur ce sujet. Les moyens d'essai de M. Clarck, perfectionnés en France par MM. Boutron et Boudet, sont maintenant généralement connus chez nous sous le nom de méthode *hydrotimétrique*.

Cette méthode d'essai rapide de la plus ou moins grande dureté de l'eau est basée sur la propriété de la dissolution alcoolique de savon, de produire, dans l'eau pure ou débarrassée des sels terreux, une mousse abondante et persistante, tandis qu'elle ne produit que des grumeaux insolubles, sans mousse à la surface, dans les eaux qui renferment des sels terreux. Pour appliquer ce principe, on verse goutte à goutte avec une burette graduée, une dissolution titrée de savon dans un volume connu de l'eau à essayer. On agite vivement après chaque addition de savon, et on note le nombre de gouttes de dissolution employé au moment où apparaît la mousse persistante. Si l'eau essayée ne renfermait qu'un sel *neutre* de chaux, on déterminerait exactement, par cette méthode, la proportion de chaux. Mais l'acide carbonique, les sels de magnésie, etc., décomposent également la dissolution de savon ; aussi cet essai donne-t-il plutôt la quantité de savon décomposé par l'eau essayée que sa richesse en calcaire. Il ne fournit d'ailleurs évidemment aucun renseignement sur la proportion des sels alcalins. La présence de matières organiques peut aussi modifier les indications. Les essais hydrotimétriques exigent, pour être bien

faits, plus d'exercice et de connaissances chimiques qu'on ne serait porté d'abord à le supposer, mais ils fournissent rapidement des indications pratiques fort utiles. En ne leur demandant pas de renseignements plus précis ni plus détaillés qu'ils ne sauraient en fournir, ils peuvent réellement rendre de grands services.

La dissolution de savon de M. Clarck et son éprouvette sont graduées de manière que chaque division de la burette, ou chaque degré de *Hardness*, répond exactement à la quantité de savon décomposable par 0,56 de *grain* de chaux, ou *un grain* de carbonate de chaux dissous dans un *gallon* d'eau (0g,0142 de carbonate de chaux par litre d'eau).

Les réactifs et les instruments de MM. Boutron et Boudet sont disposés de telle sorte que chaque degré de l'hydrotimètre représente 0g,1 de savon neutralisé par un litre de l'eau soumise à l'expérience, et correspond à 0g,01 de carbonate de chaux pour la même quantité d'eau.

Le degré de crudité de l'eau (Hardness) des chimistes anglais diffère donc du degré hydrotimétrique français. Un degré de Hardness équivaut, à très-peu près, à 1°,4, degré hydrotimétrique.

Pour donner une idée des variations de cette propriété, on empruntera aux nombreux essais faits dans le bassin de la Seine, par M. l'ingénieur en chef Belgrand, le résumé suivant :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.		
Sources du granite du Morvan et des Arkoses	2°	à	11°
—des sables de la craie inférieure.	7		12
—des sables de Fontainebleau.	6		22
—de la craie blanche.	12		17
—de la craie marneuse.	11,5		22
—du calcaire à entroques (base du système oolithique).	16		21,5
—des calcaires de la Beauce (terrain tertiaire).	17		25
—de la craie blanche, recouverte de terrains tertiaires	17		27,5
—des roches oolithiques dures.	17,5		26
—du niveau d'eau des marnes vertes, terrain non gypsifère (terrains éocènes).	20		30
—du niveau d'eau de l'argile plastique (terrains tertiaires éocènes)	20		35
—des terrains oolithiques marneux.	21,5		34
—des terrains tertiaires compris entre le dessus des calcaires de St-Ouen et l'argile plastique	21,5		46
—du niveau d'eau des marnes vertes et des marnes du gypse (partie gypsifère), sources de la banlieue de Paris.	23		155

Voici maintenant quelques chiffres empruntés au Mémoire de MM. Boudet et Boutron :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.
Eau distillée	0°
Eau de neige recueillie à Paris, en décembre 1854	2,5
—pluie id. id. id. id.	3,5
—de l'Allier à Moulins, le 5 mars 1855.	3,5
—de la Garonne à Toulouse, le 9 mai 1855	5,0
—du puits artésien de Grenelle, le 16 février 1855	9,0
—de la Seine, au pont d'Ivry, le 15 décembre 1854	15,0
—de la Seine, à Chaillot, le 16 fév. 1855.	23,0
de Belleville, le 23 février 1855.	128,0

Enfin, voici quelques exemples empruntés aux enquêtes anglaises. Les degrés de Hardness ont été multipliés par 1,4 pour les transformer en degrés hydrotimétriques correspondants :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.		
Eaux des compagnies qui alimentent Londres	15,4	à	23,4
—de Manchester	»		16,8
—de Glascow	»		6,3
—d'Edimbourg	»		7,0
Eau du puits de Torrington-square, à Londres	»		112
—du puits de la grille du Collége.	»		11,3
—d'un puits de Charlotte-street, Bedford-square	»		60,9
—des puits artésiens de Londres.	»		7,7
—de Bolton.	»		4,9 à 5,9

La proportion de sels calcaires existant dans l'eau exerce sur ses propriétés, au point de vue des usages domestiques et industriels, une très-grande influence sur laquelle nous devons insister.

Ainsi qu'on l'a dit, le degré de crudité exprime exactement la quantité de savon décomposée par un litre d'eau. Cette quantité est de 0g,1 par litre et par degré hydrotimétrique français pour le savon blanc de très-bonne qualité, contenant : soude 6 parties, acide gras 64, eau 30. Cette quantité est par conséquent exprimée par un chiffre plus élevé pour les savons communs, toujours plus ou moins humides. En prenant le dixième du nombre de degrés hydrotimétriques d'une eau, on a donc immédiatement le nombre de grammes de savon qu'il faut perdre par litre avant de pouvoir obtenir un liquide propre à dissoudre le savon qui doit servir d'une manière directe au nettoyage du linge ou de la peau. La quantité de savon, ainsi consacrée en pure perte à former dans l'eau des grumeaux insolubles, devient très-considérable quand il s'agit d'eaux un peu dures. Elle varie, selon les usages, du quart aux deux tiers du poids total du savon dépensé avec des eaux marquant, comme celles de la Seine, par exemple, de 17 à 18°. Pour se laver les mains avec un litre d'eau il faut à peine 1g,4 de savon si on se sert d'eau de pluie ou de sources granitiques ; on en consomme 3 grammes avec les eaux analogues à celles de la Seine, et il en faudrait plus de 12 grammes avec les eaux de puits de Paris. Ces poids, si faibles en eux-mêmes, appliqués à des opérations qui se répètent à chaque instant, acquièrent une importance très-réelle. A Londres, par exemple, la substitution d'eaux douces aux eaux actuelles réaliserait une économie de savon de 7 à 8 millions de fr. par an. A Paris, cette économie serait de 2 à 3 millions de fr. La consommation du savon dans la France entière est de 46 millions de kilogr. environ par an, représentant pour la population, au prix de vente au détail, une valeur de 50 millions de fr. Chaque réduction d'un degré seulement sur la crudité moyenne de l'eau réaliserait pour la France une économie de plus d'un million par an.

L'action des eaux dures pour la cuisson de la viande et des légumes est également fâcheuse. Tout le monde sait que certains légumes, les haricots blancs, par exemple, ne peuvent pas cuire dans les eaux dures en général, et surtout dans celles où la chaux se trouve unie à l'acide sulfurique. Le même effet se produit sur tous les légumes, mais il est moins sensible sur les racines, pommes de terre, navets, carottes, etc., que sur les graines légumineuses et sur les feuilles, épinards, chicorée, choux, etc. D'après un grand nombre d'essais faits par un cuisinier fort habile, M. Soyer, il faut un tiers de temps de plus pour cuire des légumes avec de l'eau à 20° de crudité, qu'avec des eaux douces marquant 4° ou 5°. L'action des eaux dures sur la viande est également très-sensible, surtout pour les viandes salées. Elle resserre les

pores au lieu de les ouvrir et diminue l'arome des mets. L'action des eaux dures dans les opérations culinaires est d'autant plus marquée que l'on opère sur de plus petites quantités, comme on le fait dans les petits ménages. Dans les grands établissements, la durée de l'ébullition adoucit l'eau avant qu'elle arrive au centre des grosses pièces de viande. Les cuisiniers soigneux et habiles, avant de les employer à des usages délicats, ne négligent jamais de faire bouillir longtemps les eaux dures, pour les adoucir par la précipitation de la plus grande partie des sels calcaires.

La dureté de l'eau exerce sur la qualité de l'infusion de thé une action très-fâcheuse et facile à observer. L'arome est toujours moindre avec les eaux dures qu'avec les eaux douces, et il faut employer beaucoup plus de thé pour obtenir la même force et la même coloration. De très-faibles quantités de fer rendent également l'eau très-mauvaise pour la préparation du thé. Les eaux un peu alcalines des puits artésiens se placent en première ligne pour la préparation de cette boisson ; puis vient l'eau distillée et enfin les eaux calcaires, qui sont d'autant moins bonnes que leur degré de crudité est plus élevé. Si l'on prend des eaux dont la crudité soit due au carbonate de chaux et marquant respectivement 5°,6, 11°,2, 16°,8, 22°,4, on reconnaît que la première donne un thé fort limpide et d'excellente qualité. Le thé fait avec la deuxième eau est encore passable mais un peu louche. L'eau marquant 16°,8 donne une infusion sensiblement trouble et enfin avec l'eau à 22°,4 la liqueur est complétement trouble et véritablement repoussante. Pour rendre le thé passable il faut alors doubler au moins la quantité de feuilles ordinairement employée.

A l'hospice de la vieillesse de Bolton, on a plusieurs fois essayé d'augmenter de moitié la ration du thé et de remplacer l'eau douce par des eaux dures. Les vieilles pensionnaires, sans être prévenues, n'ont jamais manqué de s'en apercevoir et de se plaindre au directeur de la diminution de force de leur thé.

Il est remarquable d'ailleurs que les eaux crues font mal la première infusion, et plus mal encore la seconde. Quand on ne dispose que de mauvaises eaux, il faut donc soigneusement éviter d'échauder le thé, comme le font habituellement certaines personnes délicates.

Ces inconvénients sont encore plus sensibles avec les eaux qui renferment du sulfate ou du nitrate de chaux.

La fabrication du pain et surtout celle de la bière souffrent beaucoup de l'emploi des eaux dures. On cite des brasseries obligées de suspendre leur fabrication pendant l'interruption de distribution d'eaux douces, et leur remplacement par des eaux dures.

Les eaux dépassant 22° sont fort peu convenables pour les usages de la toilette, et elles deviennent tout à fait mauvaises pour cet emploi si leur crudité est due à de la magnésie, les grumeaux de savon devenant dans ce cas beaucoup plus désagréables encore.

Les eaux dures ont en général sur la teinture une action défavorable, qui varie selon la nature des cuves. Les connaissances chimiques sont maintenant trop répandues dans les ateliers de teinture pour que nous nous arrêtions à ces questions. Mais il est un emploi des eaux qui intéresse toutes les industries, c'est l'alimentation des chaudières à vapeur avec les eaux naturelles, dont nous devons dire ici quelques mots.

Chaque kilogramme de vapeur qui s'échappe d'une chaudière y laisse une quantité de matière solide égale au poids des substances dissoutes dans un litre du liquide employé. Les inconvénients de cette accumulation de matières solides dépendent bien plus de leur nature que de leur quantité absolue. Si ces matières solides restent en dissolution comme les sels alcalins, quand il ne s'agit pas d'eau de mer, ou bien sous forme de dépôts boueux, elles n'ont presque pas d'inconvénient, quand même elles seraient très-abondantes ; il suffit, en effet, pour s'en débarrasser, de vider de temps en temps la chaudière. Au contraire, des eaux fussent-elles peu chargées, mais donnant lieu à des dépôts formant des incrustations solides dans la chaudière, sont extrêmement nuisibles et même dangereuses.

La chaux et la magnésie sont encore les bases ordinaires de ces dépôts, qui se produisent de diverses manières selon la nature de l'acide combiné avec elles.

On admet, en général, que l'eau peut dissoudre par litre de 0g,04 à 0g,06 de carbonate de chaux neutre et une beaucoup plus grande quantité de ce sel quand il existe dans le liquide de l'acide carbonique. Cette seconde partie du carbonate se dépose en poussière par le dégagement de l'acide carbonique dès les premiers bouillons de l'eau ; mais ce carbonate de chaux a peu de tendance à s'agréger et par conséquent ne présente pas beaucoup d'inconvénients. Quant au carbonate neutre qui reste dans le liquide, sa solubilité diminue avec la température, de sorte qu'elle est presque nulle vers 150°. Il se dépose d'autant plus de ce produit à l'état pulvérulent que l'on opère dans des chaudières à plus haute pression. Enfin, la partie du carbonate de chaux qui se précipite par le fait de l'évaporation de l'eau et de la saturation du liquide restant tend à se déposer en couches cristallines adhérentes. Mais ces couches sont moins abondantes, toutes choses égales d'ailleurs, avec des eaux qui abandonnent une assez forte proportion de carbonate par le fait du dégagement de l'acide carbonique que dans celles qui ne contiennent que du carbonate neutre dissous. De sorte qu'on arrive à ce résultat paradoxal, en apparence, qu'au point de vue de l'incrustation par le carbonate de chaux, il vaut mieux employer des eaux un peu chargées de ce sel, pourvu qu'elles n'en renferment pas d'autres, que des eaux très-pures, parce que les dépôts sont moins adhérents.

J'ai examiné un dépôt formé dans une chaudière par une eau assez chargée de carbonate de chaux ; ce dépôt était d'un beau blanc, pulvérulent et sans adhérence ; il renfermait :

Silice	4,75
Alumine et traces de fer	0,06
Carbonate de chaux	84,01
Carbonate de magnésie.	10,80
Eau et perte.	0,38
	100,00

Les eaux riches en sulfate de chaux sont malheureusement très-communes et donnent lieu aux incrustations les plus graves. Le sulfate de chaux est assez soluble dans l'eau froide, sa solubilité diminue avec la température, et devient nulle vers 200°. Une partie du sel se dépose donc rapidement par le fait seul de l'élévation de température ; mais elle se réunit au sulfate déposé par le fait de l'évaporation, et forme ces croûtes adhérentes aux chaudières, et souvent si solides, que connaissent tous les mécaniciens. Ces croûtes sont cristallines ou amorphes, selon les points de la chaudière où elles se déposent. La même croûte présente souvent ces deux aspects différents. Les croûtes de plâtre voisines de la tôle de la chaudière ont été assez chauffées pour perdre leur eau de cristallisation et devenir amorphes, tandis que les couches récemment déposées sont encore hydratées et cristallines. Si l'eau renferme, en même temps que le sulfate, du carbonate de chaux, ce qui arrive presque toujours, ce dernier sel, qui seul n'aurait donné, en général, que des dépôts boueux peu redoutables, se dépose sur la surface rugueuse du sulfate, se trouve emprisonné par le premier dépôt de ce sel qui a lieu lors du rallumage, et fait corps

avec lui. Enfin, si l'eau renferme de la magnésie, cette base s'ajoute également aux incrustations.

Il reste à indiquer un dernier caractère des eaux très-dures, fort important à signaler au point de vue des travaux de distribution.

Certaines eaux, et ce sont précisément celles qui doivent leur dureté au carbonate de chaux, forment, dans les conduites en fonte ou dans les aqueducs en maçonnerie, des incrustations calcaires souvent assez abondantes pour obstruer rapidement le passage de l'eau.

La propriété incrustante des eaux, si intéressante au point de vue de l'art de la distribution, exige quelques éclaircissements, car elle laisse encore, dans l'esprit des ingénieurs, des doutes que les explications suivantes pourront faire disparaître en grande partie.

Quelques auteurs avaient posé comme règle générale que toute eau, tenant en dissolution 0^{g},25 et plus de matière solide par litre, devait donner lieu à des obstructions calcaires. Cette règle empirique a été naturellement démentie par l'expérience ; on peut citer des eaux contenant par litre non-seulement plus de 0^{g},25 de sels dissous, mais même bien plus de 0^{g},25 de carbonate de chaux, et qui n'ont jamais incrusté les conduites, et réciproquement des eaux très-incrustantes et qui cependant ne contiennent pas cette proportion de sels fixes.

Pour prévoir si une eau sera incrustante, il faut tenir compte non-seulement de la proportion de ses sels fixes, mais encore de leur nature, et surtout, comme on va le voir, de la présence de l'acide carbonique dans cette eau.

Comme on l'a déjà dit, l'eau privée d'acide carbonique dissout à peine 0^{g},04 à 0^{g},06 de carbonate de chaux par litre. Mais l'eau contenant de l'acide carbonique peut dissoudre des proportions de ce sel beaucoup plus considérables. En faisant barboter du gaz carbonique dans de l'eau tenant en suspension du carbonate de chaux, on en dissout très facilement 0^{g},80 à 1^{g},00 par litre.

Le carbonate de chaux dissous dans une eau potable ou minérale peut donc, par la pensée, se partager en deux parties.

La première partie, n'excédant pas 1/16000 du poids de l'eau, est simplement dissoute par ce liquide et ne tend point à se déposer.

La seconde partie du carbonate de chaux est tenue en dissolution par l'acide carbonique que renferme le liquide et se trouve, sans doute, à l'état de bicarbonate. Ce sel est un peu soluble dans l'eau pure et plus encore dans l'eau contenant de l'acide carbonique libre.

Cette seconde partie de carbonate de chaux des eaux se dépose aussitôt qu'il ne reste plus dans le liquide assez de gaz carbonique pour tenir ce sel en dissolution. Il suffit, en effet, de placer dans le vide, ou de faire bouillir pendant quelque temps, une eau contenant par litre plus de 0^{g},04 à 0^{g},06 de carbonate de chaux pour chasser le gaz carbonique et obtenir, à l'état solide, le carbonate de chaux tenu en dissolution par cet acide faible.

Toutes les circonstances qui favorisent le dégagement du gaz carbonique de l'eau tendent, par conséquent, à déterminer des dépôts ou des incrustations de carbonate de chaux et produisent, en effet, ces accidents, si la proportion d'acide carbonique resté dans l'eau n'est plus assez considérable pour tenir en dissolution le carbonate de chaux qui se trouve dans le liquide.

Les causes qui tendent à chasser l'acide carbonique de l'eau sont assez nombreuses et expliquent la plupart des incrustations observées.

En première ligne se placent l'agitation du liquide et les chocs qui en résultent sur les corps solides environnants. Ainsi s'expliquent facilement les incrustations observées près des portes d'aval d'écluses, de certaines roues de moulin, près des chutes d'eau, etc.

La diminution de la pression à laquelle le liquide est soumis dans certaines conduites produit le même résultat, aussi bien que la circulation en petite masse dans des conduits ou des aqueducs, où l'air peut se renouveler, en entraînant sans cesse l'acide carbonique que tend à faire dégager le frottement de l'eau sur les parois plus ou moins rugueuses de la conduite.

Certains végétaux aquatiques décomposent, par leurs parties vertes, l'acide carbonique des eaux, et déterminent d'abondantes incrustations calcaires.

Enfin, les actions électriques déterminent souvent des dépôts de carbonate de chaux. Une plaque d'argent, mise en contact avec un tuyau de fonte ou de plomb, dans une eau contenant du bicarbonate de chaux, se recouvre rapidement d'une incrustation de carbonate neutre, l'acide carbonique s'étant porté sur le métal le plus électropositif. Le cuivre, le laiton, les soudures, l'hétérogénéité même des masses métalliques suffisent pour constituer des couples électriques, plus ou moins énergiques, déterminant, en effet, avec plus ou moins d'intensité, le phénomène de dépôt dont nous venons de parler.

Ainsi, par exemple, l'eau de l'ancien aqueduc romain de Nîmes, bien qu'assez pure, produit des incrustations très-abondantes, qui atteignent jusqu'à 0^{m},04 d'épaisseur, et que sa composition explique parfaitement. Son analyse m'a donné, en effet, par litre :

	Grammes.
Silice	0,0055
Alumine et peroxyde de fer.	0,0058
Carbonate de chaux	0,2275
Carbonate de magnésie.	traces.
Acide sulfurique	0,0045
Acide chlorhydrique	0,0032
Alcalis.	0,0108
Matières organiques, eau combinée et pertes.	0,0027
Total.	0,2600

Cette eau contenait à l'état de dissolution :

	Centim. cubes.	Grammes.
Oxygène.	6,608	0,0860
Azote	15.617	0,0197
Acide carbonique.	27,041	0,0534

Par l'agitation, l'acide carbonique, qui n'existe qu'en très-faible proportion, se dégage rapidement, et le carbonate de chaux doit se déposer, et se dépose, en effet, dans la cuvette de l'aqueduc. Si cette eau était plus riche en acide carbonique, elle pourrait circuler dans des conduites forcées, sans y produire d'incrustations.

Il est facile, en effet, de citer plusieurs eaux très-riches en carbonate de chaux et ne produisant pas d'incrustations. Les eaux des fontaines Notre-Dame et Saint-Nicaise, à Rouen, par exemple, renferment 0^{g},492 et 0^{g},931 de carbonate de chaux par litre, et cependant ne produisent pas d'incrustations.

La formation plus ou moins facile du dépôt calcaire dépend non-seulement de la quantité absolue du sel dissous, mais encore, et surtout, de la proportion d'acide carbonique que le liquide renferme en sus de celle qui est *strictement* nécessaire pour rendre soluble le carbonate de chaux de l'eau examinée.

Si cette proportion est nulle ou très-faible, le dépôt commence avec le moindre dégagement de gaz ; si, au contraire, elle est considérable, l'eau peut être agitée pendant plus ou moins longtemps avant d'avoir perdu assez d'acide carbonique pour que le dépôt commence et que les incrustations se manifestent.

Attribuer le dépôt des incrustations calcaires à l'expulsion de l'acide carbonique, c'est indiquer le principe des moyens à employer pour combattre les accidents de cette espèce.

Je citerai un exemple d'application de ces principes.

J'ai eu l'occasion de drainer un terrain criblé de sources dont les eaux étaient tellement incrustantes qu'elles reconvraient, en quelques jours, d'un sédiment calcaire assez épais les corps solides qu'on y plongeait. Pour éviter l'incrustation des tuyaux, qui paraissait un obstacle absolu au succès de l'opération, j'ai eu l'idée de fermer l'ouverture du dernier tuyau de chaque série de drains par une mince couche d'eau. La circulation de l'air dans les tuyaux est devenue impossible, il s'y est formé une atmosphère assez riche en acide carbonique pour empêcher le dégagement du gaz de l'eau, et, dès lors, les dépôts calcaires n'ont pu se manifester. Cette méthode serait applicable à tous les aqueducs et conduites à faible charge.

D'après un très-grand nombre d'observations recueillies par M. Belgrand, les eaux des grands cours d'eau du bassin de la Seine ne sont pas incrustantes quand leur degré hydrotimétrique, déduction faite des sels qui ne se précipitent pas par l'ébullition, ne dépasse pas 18° ou 19°. Le même auteur a réuni plusieurs exemples d'eaux incrustantes, dont le degré dépasse même assez peu cette limite. Ainsi qu'on l'a fait remarquer, la proportion de carbonate de chaux contenu dans une eau n'est pas le seul élément de ses qualités incrustantes. Le degré hydrotimétrique ne suffit donc pas pour fixer à cet égard.

Les incrustations qui se forment dans certaines conduites de Paris ne sont pas, comme on l'a cru longtemps, composées seulement de carbonate de chaux. Elles renferment jusqu'à 5,7 p. 0/0 d'une matière organique azotée qui en fait un véritable stuc, leur donne beaucoup de compacité et rend difficile leur enlèvement. Voici l'analyse de deux incrustations de cette espèce ; la première formée dans un tuyau de tôle Chameroy ; le deuxième dans un tuyau de fonte plus anciennement posé :

Résidu argileux insoluble dans les acides	2,75	7,95
Alumine et peroxyde de fer	1,10	16,00
Carbonate de chaux	91,50	67,85
Carbonate de magnésie	0,20	0,10
Acide sulfurique	fortes traces	f. traces
Matières organiques, non compris l'azote	2,79	5,62
Azote	0,26	0,13
Eau et matières non dosées	1,40	2,35
	100,00	100,00

On préviendrait certainement le dépôt du calcaire dans les conduites en y introduisant régulièrement, ce qui serait très-facile, la quantité de gaz carbonique nécessaire pour remplacer celui qui fait défaut pour tenir en dissolution le carbonate calcaire de la liqueur.

L'enlèvement des incrustations calcaires dans les tuyaux en fonte peut se faire en introduisant dans la conduite, avec certaines précautions, un peu d'acide chlorhydrique. L'opération réussit bien, en général, sur les incrustations de carbonate de chaux pur, mais elle devient d'une application difficile, et souvent impossible, pour les incrustations anciennes, compactes et mélangées, ce qui arrive souvent, de matières argileuses, siliceuses ou organiques.

Les moyens proposés pour améliorer les eaux trop calcaires sont assez nombreux. Quand il s'agit d'eaux trop riches en calcaire, l'addition d'eau de chaux, en quantité convenable, comme l'a proposé le docteur Clarck, neutralise l'acide carbonique en excès, ramène le bicarbonate de chaux à l'état de carbonate neutre qui se précipite. L'eau ainsi traitée, puis éclaircie par le repos ou la filtration, ne marque plus que 5° à 7° hydrotimétriques. Elle peut offrir des avantages pour certaines applications industrielles, mais on doit reconnaître qu'à moins de lui rendre son acide carbonique, ce qui serait du reste assez facile, même sur une grande échelle, cette eau ne serait pas agréable à boire. Sans être aussi efficace que pour les eaux calcaires, l'emploi de l'eau de chaux peut également améliorer les eaux très-chargées de sulfate de chaux, mais il faut alors employer l'eau de chaux en excès, parce que le sulfate de chaux est moins soluble dans ce liquide que dans l'eau pure. Ainsi traitée, l'eau devient impropre aux usages domestiques, à moins d'une longue exposition à l'air ; mais elle peut convenir pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

L'ébullition, en chassant l'acide carbonique, détermine la précipitation du carbonate neutre et adoucit ainsi les eaux trop dures. C'est ce procédé qui est employé par les cuisiniers soigneux dans les pays où les eaux sont dures. L'ébullition précipite une partie du sulfate de chaux s'il est très-abondant, mais la solubilité de ce sel à 100° est encore assez grande pour laisser des eaux de très-mauvaise qualité.

L'emploi de l'eau de chaux et l'ébullition ne seraient pas facilement applicables sur une grande échelle. Quand on n'a que des eaux trop calcaires, le seul moyen de les améliorer en grand consiste, si l'on dispose d'un peu de chute, à les faire tomber à plusieurs reprises en lames minces ou en filets, ou bien à les battre avec une roue de moulin, mue au besoin par une machine à vapeur si la chute manque ; on amène ainsi facilement une eau naturelle à ne contenir que 0g,10 de carbonate de chaux par litre.

Les eaux calcaires, comme on vient de le voir, peuvent être améliorées par des moyens assez simples. Les eaux riches en sulfate de chaux sont beaucoup plus désagréables et impossibles à amener à un état de pureté convenable pour l'alimentation. Pour le blanchissage et même pour l'alimentation des machines, on peut les traiter par le carbonate de soude, qui précipite la chaux à l'état de carbonate. Si l'eau est d'ailleurs très-riche en acide carbonique libre, une partie du carbonate reste en dissolution, et l'on est forcé de recourir à l'un des procédés décrits pour les eaux calcaires. Dans tous les cas, l'eau reste chargée de sulfate de soude, sel qui pourrait à la longue exercer sur la santé une action fâcheuse, et qui, dans tous les cas, donne à l'eau une saveur fade peu agréable. On doit employer par litre 0g,021 de carbonate de soude cristallisé par 0g,01 de sulfate de chaux contenu dans l'eau.

On a souvent indiqué la baryte comme moyen de purifier les eaux plâtreuses. Les propriétés vénéneuses des sels barytiques sont assez énergiques pour que nous ne conseillions jamais l'emploi de cette substance pour le traitement de l'eau. Les erreurs de dosages, toujours si faciles à commettre, auraient de trop fâcheuses conséquences.

L'importance des sels de chaux et de magnésie dans les eaux nous a obligé à nous y arrêter longtemps. Ce qui nous reste à dire sur les autres matières que ce liquide peut renfermer sera beaucoup moins long.

La potasse combinée à divers acides existe rarement dans les eaux naturelles en quantité un peu notable. On la rencontre particulièrement dans les eaux des puits artésiens et des terrains granitiques et feldspathiques.

La soude ne se rencontre aussi qu'assez rarement dans les eaux naturelles, si ce n'est à l'état de chlorure (sel marin) dans les eaux recueillies dans le voisinage de la mer. Beaucoup de puits sur le bord des côtes fournissent des eaux saumâtres, très-riches en sel, que l'on emploie, à défaut d'autres, pour les usages domestiques.

La proportion de sel contenu dans l'eau des grands fleuves décroît rapidement, en général, quand on remonte leur cours. L'eau de mer prise à 500 mètres du rivage à Dieppe contenant 29g,8 de sel marin par litre, j'ai trouvé dans l'eau de la Seine les quantités suivantes de cette substance :

			Grammes
Le Havre, poulier du sud,	20 mars 1855, 1 quart d'heure avant le flot.		22,7
Idem, idem,	27 mars 1855,	idem.	10,5
Honfleur, près l'hôpital,	20 mars 1855,	idem.	10,0
Idem, idem,	27 mars 1855,	idem.	6,4
Berville, à la surface,	20 mars 1855,	idem.	8,9
Idem, au fond,	20 mars 1855,	idem.	9,1
Idem, à la surface,	27 mars 1855,	idem.	0,5
Idem, au fond,	27 mars 1855,	idem.	0,3
La Roque, à la surface,	20 mars 1855,	idem.	4,1
Idem, au fond,	20 mars 1855,	idem.	4,8
Idem, à la surface,	27 mars 1855,	idem.	0,03
Idem, au fond,	27 mars 1855,	idem.	3,03
Tancarville, à la surface,	20 mars 1855,	idem.	0,5
Idem, au fond,	20 mars 1855,	idem.	0,5
Idem, à la surface,	27 mars 1855,	idem.	0,02
Idem, au fond,	27 mars 1855,	idem.	0,03
Quillebœuf, à la surface,	20 mars 1855,	idem.	0,02
Idem, au fond,	20 mars 1855,	idem.	0,04
Idem, à la surface,	27 mars 1855,	idem.	0,03
Idem, au fond,	27 mars 1855,	idem.	0,03

La proportion de sel varie naturellement d'un jour à l'autre, selon la force de la marée et celle du courant, mais la loi de décroissance est toujours bien marquée. Au dessus de Quillebœuf, la proportion de sel diminue encore plus rapidement, et à Rouen on n'en trouve plus que des traces.

L'ammoniaque, à l'état de nitrate ou de carbonate, exerce sur la saveur des eaux une action analogue à celle des alcalis précédents. Cette substance n'existe également qu'en très-petite quantité dans les eaux naturelles de bonne qualité. Elle ne se trouve en abondance que dans les eaux qui ont été en contact avec des matières organiques en décomposition. Nous reviendrons sur cette substance en parlant de l'acide nitrique dans les eaux.

La silice existe dans presque toutes les eaux, mais habituellement en petite proportion. Les eaux des terrains granitiques et feld-spathiques en renferment une certaine quantité provenant, comme la potasse, de la décomposition par l'eau, l'air et l'acide carbonique des roches de cette espèce. Certaines eaux minérales renferment beaucoup de silice; mais cette substance, dans la proportion où elle se trouve dans les eaux ordinaires, paraît exercer peu d'influence sur leurs propriétés pour les usages domestiques et économiques.

On a déjà parlé de la présence de l'acide sulfurique dans les eaux à l'état de sulfate de chaux. C'est une des causes les plus fréquentes de la mauvaise qualité les eaux dans une partie de la France. Considéré indépendamment de la base avec laquelle il est uni, l'acide sulfurique donne lieu à des réactions extrêmement fâcheuses. Quand les eaux qui en renferment se trouvent en présence de matières organiques, il se forme souvent de l'acide sulfhydrique qui rend l'eau infecte. Cette réaction des eaux plâtreuses sur les bois les détruit assez rapidement; ainsi, les pieux enfoncés sur le bord du lit de la Seine à Paris, surtout sur la rive droite, sont coupés à la ligne d'affleurement des couches d'eaux plâtreuses qui descendent de Montmartre, quand ils se trouvent en même temps à proximité d'un égout qui fournit les matières organiques. Des réactions analogues sont très-fréquentes dans les pays où les eaux sont riches en acide sulfurique.

L'acide chlorhydrique se rencontre le plus habituellement dans les eaux qui contiennent de la soude. Quelquefois cependant, il paraît uni à la chaux, mais alors il est en petite quantité. Sa présence ne donne lieu à aucune observation générale digne d'intérêt au point de vue pratique qui nous occupe ici.

L'acide phosphorique doit exister dans les eaux beaucoup plus fréquemment qu'on ne le suppose habituellement, parce que les chimistes, jusque dans ces derniers temps, ne le recherchaient pas d'une manière spéciale. Je l'ai rencontré dans un assez grand nombre d'eaux naturelles où son importance, au point de vue des irrigations, me l'a fait chercher. Il est à désirer que l'attention des chimistes et des médecins soit appelée sur ce point. La haute importance des phosphates en agriculture et dans l'économie animale permet de prévoir que cette étude donnera lieu à d'intéressantes et utiles observations.

L'attention n'a été vivement appelée sur l'existence des nitrates dans les eaux que dans ces derniers temps; on avait depuis longtemps signalé leur présence, mais en général, on ne les dosait pas d'une manière rigoureuse. L'importance de ces composés au point de vue de l'agriculture est maintenant bien appréciée; leur influence sur les qualités hygiéniques ou économiques de l'eau est encore peu connue. Mais on peut espérer que les observations en se multipliant ne tarderont pas à éclairer cette question.

L'acide nitrique forme avec la chaux un sel soluble fixe, qui doit exercer une action non moins nuisible que celle du sulfate de chaux.

La production des nitrates est due à des réactions qui ne sont pas encore connues dans tous leurs détails, mais dont l'ensemble permet déjà d'expliquer plusieurs faits importants. En présence de l'oxygène et de produits calcaires ou alcalins, les matières organiques azotées sont brûlées et transformées en acide carbonique et en acide nitrique. Ainsi s'explique l'absence presque complète de matières organiques dans la plupart des puits de Paris, percés au milieu de terrains imprégnés de déjections de toute sorte, et, en revanche, la forte proportion de nitrates existant dans ces eaux. Dans certaines conditions, la nitrification est donc un moyen de débarrasser l'eau des matières organiques qui la rendraient repoussante. Nous n'insisterons pas ici sur la formation des nitrates; nous dirons seulement que l'existence de ces produits, presque toujours négligés dans les analyses d'eau jusque dans ces derniers temps, expliquera probablement bien des faits dont la science ne pouvait pas encore faire connaître les causes. L'altération de certains métaux par les eaux, le succès ou l'insuccès, selon les pays, de certaines opérations de teinture, etc., n'ont peut-être pas d'autre origine.

L'oxydation de l'ammoniaque dans beaucoup de circonstances donne naissance à de l'acide azotique, et réciproquement, certaines actions réductrices transforment l'acide azotique en ammoniaque. Il doit donc exister souvent une relation entre les proportions relatives de ces deux composés dans les eaux. Un assez grand nombre d'essais, trop longs à reproduire ici, m'ont fait reconnaître que la proportion d'acide azotique et d'ammoniaque variant dans l'eau puisée à une même source à diverses époques, la somme de l'azote de ces produits est souvent à peu près constante.

Voici quelques exemples de dosages d'ammoniaque et d'acide azotique dans les eaux :

	MILLIGRAMMES par litre	
	d'ammoniaque	d'acide azotique monohydraté
Eau des fontaines d'Haguenau n° 1	0,2	9,5
Idem n° 2	0,8	4,9
Eau filtrant du ciel des catacombes à Paris	4,6	15,1
Eau d'un ruisseau des Vosges	0,1	8,0
Eau du canal de Carpentras	1,0	1,9
Eau de la Moselle à Charmes	0,6	2,5
Fontaine près de Versailles	1,0	15,0

Nous ne parlerons pas ici de l'acide carbonique qui se trouve à l'état de combinaison dans les sels de l'eau. Nous n'aurions rien d'utile à ajouter à ce qui a été dit à propos des carbonates de chaux ou de magnésie. Nous reviendrons dans un instant sur ce gaz simplement dissous dans l'eau.

Nous passerons également sous silence les substances telles que le brome, l'iode, le fluor, etc., qui existent dans les eaux en quantités excessivement petites. Nous sommes assurément très-porté à leur attribuer une importance hygiénique considérable ; mais cette influence n'a pas encore été suffisamment étudiée pour que l'on puisse le démontrer avec un degré absolu de certitude et de netteté.

Nous arrivons donc à l'examen d'une deuxième classe de matières solides contenues dans les eaux naturelles. Ce sont les matières organiques. Ces substances sont peut-être les plus importantes à étudier. Malheureusement les données scientifiques manquent presque totalement à leur égard parce que la marche suivie jusqu'à présent dans les analyses les altère profondément, une longue ébullition les détruisant en partie, comme je m'en suis souvent assuré.

D'un autre côté, les chimistes, jusqu'à présent, se sont bornés à chauffer au rouge le résidu de l'évaporation des eaux, et à compter comme matière organique la perte éprouvée par le précipité pendant cette combustion. On dose ainsi, en général, la matière organique trop haut, parce que l'on perd en même temps qu'elle l'eau fortement retenue par certains sels, le sulfate de chaux par exemple, qui ne perd la totalité de son eau qu'à une température qui détruit la matière organique. Certains chlorures se volatilisent ou se détruisent à la même température, ainsi que les nitrates. Il faut donc, pour étudier sérieusement les matières organiques des eaux, en faire l'analyse élémentaire. C'est ce que je fais maintenant par une méthode nouvelle ; mais les résultats obtenus à cet égard ne sauraient encore trouver place ici.

Les eaux destinées aux usages domestiques ne doivent renfermer que des quantités excessivement faibles de matières organiques. La qualité de l'eau est d'autant meilleure que cette proportion est plus faible, toutes choses égales d'ailleurs. C'est une condition que les eaux des principales villes de l'Europe sont malheureusement bien loin de remplir.

Tout le monde connaît, sous ce rapport, la mauvaise qualité des eaux de Londres. Elles conservent, souvent, même après une filtration, une coloration sensible. Abandonnées à elles-mêmes pendant quelques jours, il s'y développe un nombre immense d'animaux microscopiques et même des insectes visibles à l'œil nu, ainsi que le constatent les enquêtes de 1852. Leur odeur est sensible pour les étrangers.

Les eaux de Paris sont assurément bien loin d'être dans d'aussi mauvaises conditions, quoiqu'elles laissent, sous ce rapport, beaucoup à désirer. L'eau puisée à Chaillot, la plus mauvaise de Paris à cet égard, est très-chargée de matières répugnantes ; en basses eaux surtout leur proportion devient assez grande pour être facilement appréciable. Cependant, cette eau bien filtrée ne se corrompt que fort lentement. La matière organique des eaux de Paris se distingue surtout de celle des eaux de Londres par l'absence presque complète de germes d'animaux.

Les eaux stagnantes, celles qui traversent les marais, etc., se chargent toujours de matières organiques, principalement d'origine animale, auxquelles on attribue en partie, non sans raison, les fièvres et l'état maladif des populations qui les consomment ; je pourrais en citer de nombreux exemples. En Chine on fait, dit-on, toujours bouillir les eaux de cette espèce quelque temps avant de les boire. A l'époque du choléra, plusieurs médecins de Londres recommandaient la même précaution. Elle paraît, en effet, très-rationnelle. L'ébullition anéantit le principe de la vie dans les germes végétaux ou animaux que renferme l'eau ; elle coagule certains composés analogues à l'albumine, qui se précipitent par le refroidissement ; elle détruit enfin avec le temps les matières organiques de l'eau, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer.

La filtration à travers des couches de sable et d'argile peut également purifier l'eau de certaines matières organiques dissoutes, en même temps qu'elle sépare les corps solides, comme nous l'expliquerons en parlant de cette opération.

On trouve dans certaines eaux une matière organique particulière, qui se précipite en flocons rougeâtres par l'action de l'oxygène de l'air. On désigne quelquefois ces eaux sous le nom d'eaux ferrugineuses, à cause de la couleur des dépôts qu'elles produisent, bien qu'elles ne renferment que fort peu de fer. Les eaux de cette nature s'améliorent, comme les eaux incrustantes de nature calcaire, par l'exposition et l'agitation à l'air et peuvent alors devenir très-convenables pour l'alimentation des villes.

Les drainages exécutés dans certains terrains tourbeux riches en oxyde ou en sulfure de fer, donnent souvent des eaux tellement chargées de la matière dont nous parlons qu'elle bouche les tuyaux d'une manière plus ou moins rapide. L'étude de ces obstructions explique très-bien la purification, par leur exposition à l'air, des eaux dont nous parlons. Quelques explications à ce sujet ne seront pas déplacées ici.

La composition des dépôts est nécessairement assez variable : elle dépend sans doute de la nature du sol traversé par les eaux qui les produisent. D'un autre côté, les dépôts sont presque toujours mélangés mécaniquement en proportions indéterminées, mais souvent considérables, d'argile, de sable fin, de détritus de végétaux, etc.

Pour donner une idée des différences de composition qui existent d'un échantillon à l'autre, nous rapporterons les trois analyses suivantes :

	I.	II.	III.
Sable fin et argile insolubles dans l'acide chlorhydrique. .	17,00	29,75	76,75
Alumine.	3,67	3,75	5,75
Oxyde de fer.	37,67	49,70	4,75
Carbonate de chaux	6,33	8,48	3,66
Carbonate de magnésie. . . .	0,00	3,24	1,14
Eau combinée, substances non dosées et matières organiques combustibles, non compris l'azote	34,67	3,07	7,55
Azote	0,66	2,04	0,40
	100,00	100,00	100,00

Il serait difficile de tirer de ces chiffres, sans une étude plus détaillée, des renseignements bien utiles. Il n'en est pas de même des faits suivants, dont on appréciera facilement l'intérêt pratique.

Lorsqu'on recueille un dépôt récent et l'eau même au sein de laquelle il se forme, il suffit de jeter le tout sur un filtre pour obtenir un liquide parfaitement clair. Ce liquide, renfermé dans des flacons entièrement remplis et bien bouchés, ou placé dans une atmosphère dépourvue d'oxygène, conserve indéfiniment sa transparence. Exposé à l'action de l'oxygène pur ou de l'air atmosphérique, il se trouble au contraire en quelques instants et laisse déposer la matière ocreuse qui forme la base des obstructions dont nous nous occupons.

On débarrasse facilement de ce liquide, par quelques lavages à l'eau pure, le dépôt recueilli dans les drains ou dans les fossés de décharge. Par son exposition à

l'air, sa teinte devient de plus en plus rougeâtre. Après quelques heures, lorsque la couleur paraît ne plus varier, si on introduit le dépôt dans un flacon rempli d'eau et bien bouché, on voit la teinte rougeâtre repasser peu à peu au brun foncé, presque noir. Après quelques semaines, il suffit de jeter le produit sur un filtre pour obtenir de nouveau un liquide clair, mais qui se trouble rapidement à l'air en laissant déposer le produit ocreux dont j'ai déjà parlé. En même temps, le dépôt, laissé sur le filtre, reprend la teinte rougeâtre qu'il présentait au moment où on l'a renfermé dans le flacon. La même série d'observations peut se reproduire un certain nombre de fois sur le même échantillon. Le produit en question présente donc ce double caractère, de devenir *insoluble* par son *oxydation* et de pouvoir se réduire quand on l'abandonne à lui-même, de manière à redevenir en partie soluble.

Si on introduit 3 ou 4 centimètres cubes du précipité ocreux, récemment recueilli et imbibé de l'eau au milieu de laquelle il se formait, dans une éprouvette remplie d'oxygène, renversée sur la cuve à mercure, l'absorption du gaz est d'abord très-rapide, puis se ralentit peu à peu, et finit par s'arrêter. Pendant les huit premiers jours de l'une de mes expériences, 14 centimètres cubes de gaz oxygène ont été absorbés, tandis que 13 centimètres cubes seulement ont disparu dans les treize jours suivants. La masse était alors complétement rougeâtre, et, jetée sur un filtre, donnait un liquide clair et ne renfermant en dissolution aucun produit remarquable.

Le liquide qui imprègne les précipités récents renferme des proportions variables de substances précipitables par l'action de l'air. Nous en avons obtenu jusqu'à 0g,80 par litre, bien que déjà l'action de l'oxygène en eût fait précipiter une partie. En général, on en trouve 0g,25 à 0g,50 par litre, ce qui suffit, en raison de la légèreté du produit et de sa consistance gélatineuse, pour produire rapidement l'obstruction des tuyaux.

Des faits qui précèdent, et qu'il est inutile de décrire plus minutieusement, il résulte : que les eaux qui produisent les obstructions dont il s'agit conservent leur limpidité et ne donnent lieu à aucun dépôt quand elles sont mises à l'abri de l'action de l'oxygène de l'air; que le dépôt récemment formé peut exercer sur lui-même une action réduisante qui le fait en grande partie repasser à l'état soluble.

Avant de distribuer les eaux de cette espèce, il faut donc les exposer et les agiter au contact de l'air, et séparer soigneusement le dépôt floconneux aussitôt qu'il est formé, pour éviter qu'il ne se dissolve de nouveau.

Nous pourrions citer un cours d'eau du département de la Charente-Inférieure dont les eaux, dans un parcours peu étendu, en passant, il est vrai, sur deux roues de moulin, abandonnent par litre 0g,43 de matières de cette nature.

Les eaux chargées des matières dont on vient de parler déterminent assez rapidement la pourriture des bois enfouis dans les terrains qui en sont imprégnés. Ce fait explique l'altération assez rapide des pieux de fondation de certains ouvrages importants.

La destruction des matières organiques contenues dans les eaux, et qui les rendent impropres aux usages domestiques, est souvent impossible par les procédés de la pratique. Nous devons cependant indiquer la nature des moyens à employer pour remédier à ce genre d'inconvénient.

La combustion lente de ces matières par l'oxygène de l'air, leur assimilation par certains végétaux aquatiques, et enfin leur fixation, par certains terrains, sont la base des procédés que la nature emploie pour purifier les eaux croupissantes, et que l'industrie de l'homme cherche à mettre en œuvre dans le même but.

On le répète encore, la nature spéciale des divers produits organiques que renferment les eaux naturelles n'est pas assez connue pour que l'on puisse toujours indiquer à l'avance lequel de ces trois moyens peut le mieux réussir. Mais soit isolément, soit réunis, ils permettent presque toujours de ramener à un état de pureté très-satisfaisant les eaux les plus chargées de matières organiques.

L'exposition à l'air et au soleil des filtrations répétées à travers du sable aéré suffisent souvent pour détruire assez vite la matière organique. Dans ce cas, l'eau se charge d'acide carbonique. Les parties vertes des végétaux aquatiques accélèrent ou complètent cette action, pourvu, bien entendu, que le liquide se renouvelle; car, à l'état stagnant, il dissoudrait plus tard les parties mortes des plantes, et redeviendrait infect.

L'action des parties argileuses du sol exerce aussi, sur un assez grand nombre de matières organiques, une action des plus remarquables. Certaines eaux sont entièrement dépouillées de leurs matières organiques nuisibles par leur passage à travers une terre argileuse, ou une agitation de quelques minutes avec ces mêmes matières. J'ai reconnu, par exemple, par des expériences directes, que des vinasses de distilleries très-chargées, agitées à la dose de 2 à 3 p. 0/0, avec des terres argileuses, ou filtrées sur ces terres, donnent des liquides complétement privés de matières organiques. Ce n'est pas ici le lieu de s'arrêter à l'importance de ce résultat, au point de vue de la théorie agricole; il suffit de citer ce fait comme exemple de la purification d'une eau fort riche en matières organiques stables par l'action des terres.

Les sels ammoniacaux et alcalins sont également enlevés en partie aux eaux par leur passage dans des sols argileux, ainsi que l'ont si bien démontré les curieuses expériences de M. Way. On comprend toutes les ressources que peuvent donner à la pratique de la clarification des eaux ces réactions si singulières, sur lesquelles nous regrettons de ne pouvoir nous arrêter davantage.

Arrivons enfin à l'étude des gaz dissous dans les eaux. L'acide carbonique, dissous dans l'eau, même en très petite quantité, lui donne une saveur agréable et exerce sur les fonctions digestives une action favorable. C'est à l'absence seule de ce gaz que certaines eaux doivent leur fadeur. Tous les auteurs admettent également la nécessité de l'air, et surtout de l'oxygène en dissolution dans l'eau. On attribue même à son absence, dans quelques eaux provenant de la fonte des neiges, les maladies endémiques de certaines vallées montagneuses.

L'aération de l'eau est une qualité essentielle, sur l'importance de laquelle on n'a pas assez généralement insisté, et dont les hommes de l'art se préoccupent beaucoup trop peu. Des faits très-nombreux d'observation nous ont montré l'importance de cet élément de la qualité des eaux, et nous ont fait chercher le moyen de l'étudier plus attentivement qu'on ne le fait en général.

Tous les traités d'analyse chimique conseillent d'extraire les gaz de l'eau par l'ébullition pour les soumettre ensuite à l'analyse eudiométrique. Cette méthode ne convient que pour les eaux absolument privées de matières organiques, c'est-à-dire qu'elle fournit presque toujours des résultats erronés. A la température de l'ébullition, en effet, à laquelle se dégagent les dernières bulles d'oxygène, ce gaz réagit sur les matières organiques de diverses manières, selon leur composition ; de sorte que l'on en perd une partie qui reste en combinaison ou bien qui se transforme en acide carbonique qui s'ajoute à celui du liquide. Il convient donc, pour les travaux de recherches délicates, de doser les

gaz de l'eau en plaçant le liquide dans le vide, et en ne l'exposant pas à une température sensiblement plus élevée que celle où il se trouve exposé dans les conduites de distribution.

On sait que l'on peut également doser l'oxygène de l'eau à l'aide du manganate de potasse titré. C'est un procédé d'une exécution aussi facile que la détermination d'un degré hydrotimétrique, mais qui doit être souvent contrôlé par l'analyse eudiométrique directe, car diverses circonstances peuvent le rendre fautif. On ne saurait assez multiplier les essais de ce genre, qui fourniront sans aucun doute de très-utiles indications.

Les eaux de bonne qualité ne doivent tenir en dissolution que les gaz oxygène, azote et carbonique. La proportion relative de ces gaz et de leur volume total est extrêmement variable d'une eau à l'autre, et souvent, pour une même eau, d'un jour à l'autre. Il est rare que la proportion soit celle indiquée par la loi de solubilité des gaz en contact avec l'eau.

Dans une eau de bonne qualité, l'oxygène ne doit pas descendre au-dessous de 3 ou 4 centimètres cubes par litre; plus la proportion de ce gaz est considérable et plus, toutes choses égales d'ailleurs, l'eau est de bonne qualité. La proportion d'azote varie moins que celle de l'oxygène; quand elle dépasse 14 ou 15 centimètres cubes par litre, l'eau a dû séjourner trop longtemps dans un espace confiné, ou s'être trouvée avec certaines matières organiques en décomposition. Quant à l'acide carbonique, sa proportion n'a, pour ainsi dire, pas de limite; le passage des eaux ordinaires aux eaux gazeuses proprement dites a lieu par degrés insensibles. On peut dire seulement que dans les eaux ne renfermant pas de bicarbonate, on doit encore trouver, en général, 8 à 10 centimètres cubes d'acide carbonique par litre, pour que l'eau soit agréable et salutaire. L'eau des puits artésiens, qui plaît assez généralement, en contient cependant une moindre quantité.

La stabilité de la solution de gaz carbonique dans l'eau varie du reste avec beaucoup de circonstances. La nature des matières solides dissoutes dans le liquide, bien que si faible en général, exerce une influence plus grande qu'on ne le pense sur la solubilité de ces gaz. D'un autre côté, le temps augmente beaucoup cette stabilité. Ainsi tout le monde a remarqué que l'eau de seltz, versée quelques instants après sa préparation, abandonne immédiatement presque tout son gaz et n'a que peu de saveur; tandis qu'en la conservant quelque temps, elle petille plus longtemps dans le verre et offre une saveur beaucoup plus agréable. Les eaux naturelles présentent un fait analogue : si le moment où elles se chargent d'acide carbonique est éloigné de celui où les circonstances extérieures d'élévation de température, de diminution de pression, d'agitation, etc., tendent à le lui faire perdre, elles résistent beaucoup plus longtemps à ces influences que si elles avaient agi plus promptement sur elles.

Les variations de la proportion d'oxygène dans l'eau sont quelquefois très-rapides. Parmi les nombreux exemples que j'ai observés, j'en citerai un seul, pour ne pas allonger encore ce paragraphe déjà si long. Pendant les chaleurs de l'été de 1856, la proportion d'oxygène dissous dans l'eau du lac du bois de Boulogne est tombée, en une semaine, de 3cc,6 par litre à 1cc,8 seulement.

L'influence de pareilles variations dans la qualité de l'eau au point de vue de ses applications domestiques et industrielles est nécessairement considérable, et il importe que les chimistes, en multipliant les essais, donnent aux médecins le moyen d'en apprécier les effets sur la santé.

Voici quelques exemples d'analyses de gaz de l'eau.

DÉSIGNATION DES EAUX.	GAZ DISSOUS PAR LITRE. Centimètres cubes à 0° et 0m,76.			
	Azote.	Oxygène.	Acide carboniq.	Volume total.
1 Sources des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées). .	3,6	13,8	16,2	33,6
2 Source d'Argagnon, près d'Orthez (Basses-Pyrén.)	1,7	13,6	21,9	13,2
3 Source de Combes-la-Ville (Seine-et Marne). . . .	3,1	16,6	15,0	54,7
4 Fontaine de la place d'Armes de la Rochelle . . .				
5 Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846.	3,9	12,0	16,2	32,1
6 Eau du puits artésien de Grenelle en 1841.	3,6	13,0	1,5	18,1
7 Eau du château d'eau de Reims, 18 juin 1849. . .	5,7	15,6	5,8	27,1
8 Eau de la Vilaine, à Rodon, le 18 août 1816	3,7	11,9	4,8	20,4
9 La Loire à Nantes, vis-à-vis le château, 7 juillet 1845	5,5	11,4	0,5	17,5
11 La Maine à Clisson, 26 juillet 1846.	4,3	14,5	3,3	22,1
12 Lac de Grandlieu près Bonaye, 17 juillet 1848. . .	5,9	13,4	0,6	19,9
13 Eau de la Garonne à Toulouse, 16 juillet 1846 . .	7,9	15,7	17,0	40,6
14 Eau du puits de l'École normale de Rodez, 29 décembre 1849.	9,8	25,3	21,7	56,8
15 Eau du Doubs à Besançon, 17 juin 1845.	9,5	18,2	17,8	45,5
16 Eau du Rhône à Genève, 30 avril 1846	8,4	18,4	8,0	34,8
17 Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835.	6,5	11,5	6,5	24,5
18 Eau du Rhône à Lyon, 2 mars 1839.	7,9	16,0	12,8	36,7
19 Eau de Rhin à Strasbourg, mai 1846	7,4	15,9	7,6	30,9
22 Eau prise au milieu du lac de bois de Boulogne, juin 1856	2,6	12,0	1,3	15,9
23 Eau de l'étang de Cazean (Landes), novembre 1858.	6,6	16,0	11,2	33,8
24 Eau d'un puits de Paris, près le marché St-Honoré	1,4	20,7	38,1	60,2
25 Eau des fontaines d'Haguenau.	6,0	29,6	22,2	57,8
26 Eau d'une source près de Versailles, 15 juill. 1858.	5,7	13,3	11,4	30,4
27 Eau de la même source, 25 juillet 1858.	3,7	16,2	11,8	31,7

Les mêmes eaux portent le même numéro dans ce tableau et dans celui de la page 174.

Il est une application de l'étude des gaz dissous dans l'eau, que nous ne pouvons passer sous silence. Les qualités des eaux, au point de vue de la science récente et si intéressante de la pisciculture, sont encore, il faut bien l'avouer, assez mal connues. Certaines eaux sont bonnes, d'autres sont mauvaises. La nature des matières salines dissoutes paraît, dans certaines limites, exercer assez peu d'action. La température de l'eau est très-importante au contraire, mais elle ne rend pas

compte de toutes les anomalies observées. La nature et la variation des gaz dissous, et surtout de l'oxygène, me semble, au contraire, devoir exercer une action énorme sur le développement et la santé des poissons. C'est leur atmosphère. Des essais assez nombreux m'ont indiqué qu'il y aurait une voie de recherches intéressantes à faire dans ce sens. Pour n'en citer qu'un exemple, je dirai que la diminution dans le volume d'oxygène dissous dans les eaux du lac du bois de Boulogne citée ci-dessus a concordé avec une énorme mortalité des poissons du lac.

Cette longue discussion montre nettement l'indispensable nécessité pour toute administration prudente de faire étudier très-attentivement les composés minéraux, les matières organiques et les gaz qu'une eau renferme avant d'entreprendre les travaux toujours très-coûteux de sa distribution. Les exemples d'analyses rapportés ci-dessus, et d'autres au besoin, permettront toujours de comparer une eau proposée pour une distribution à une eau de composition analogue, employée depuis longtemps et dont les propriétés sont dès lors connues. L'analyse permettra d'ailleurs de rejeter immédiatement pour une distribution les eaux mal aérées ou contenant en trop forte proportion certains composés dont les inconvénients sont bien constatés.

A une composition chimique satisfaisante les eaux destinées aux distributions publiques doivent encore joindre autant que possible deux qualités physiques d'une grande importance, savoir : une limpidité parfaite et une température peu variable de 10° à 12°, pour paraître fraîches en été et chaudes en hiver. Les eaux de source à cet égard ont une grande supériorité sur les eaux de rivière; mais cet avantage ne doit pas faire oublier d'autres conditions souvent plus importantes pour une ville.

§ II. QUANTITÉS D'EAU A DISTRIBUER DANS DIVERSES CIRCONSTANCES.

Une distribution d'eau ne saurait, pour ainsi dire, être trop considérable; mais les frais d'établissement croissant rapidement avec le volume, et les ressources disponibles étant nécessairement limitées, il convient de rechercher les bornes dans lesquelles il faut se renfermer dans chaque cas particulier.

Nous donnerons d'abord, à titre de renseignements, quelques exemples de distributions d'eau dans diverses villes, puis nous indiquerons les règles pratiques que l'on peut déduire de ces expériences.

Les eaux de Rome antique, si justement célèbres, se présentent naturellement les premières à l'esprit.

Jusqu'en l'an 441, on ne se servait à Rome que des eaux du Tibre, des puits et des fontaines de la ville et du voisinage. On attribuait à ces dernières eaux la propriété de guérir les malades. La première dérivation, celle de l'Appia, fut établie en 442. Depuis cette époque, les différentes autorités qui se succédèrent à Rome travaillèrent à l'envi à augmenter le volume des eaux et à améliorer le système de leur distribution.

Voici quels étaient, à la fin du 1er siècle de notre ère, la longueur et le débit des aqueducs de dérivation de Rome :

	Longueur.	Débit en 24 heures.
	mètres.	mèt. cubes.
Aqueduc de l'eau Appia et Augusta.	26091,45	109500
—Anio-Vieux.	63855,00	263880
—Marcia	91640,09	281400
—Tepula et Julia	22907,61	99060
—Vierge	23032,35	450240
—Alsietina	32925,42	23520
—Augusta.	1188,60	
—Claudia.	68912,91	276420
—Nouvel-Anio.	87469,50	284280
	417722,33	1488300

La population, à cette époque, était à peine de 1 million d'habitants. Le volume d'eau distribué était donc de 1500 litres par tête et par jour environ.

Les registres de distribution, qui ne comprenaient que 841,080 mètres cubes, établissent de la manière suivante la distribution de ce volume d'eau :

	mèt. cubes.
Distribution hors la ville.	243780
—au nom de César, jardins, châteaux impériaux, etc.	402420
—aux particuliers.	230820
—à 19 camps.	16740
—à 95 établissements publics	144060
—à 39 spectacles.	23460
—à 591 pièces d'eau	80400
	841080

Les eaux étaient classées selon leur qualité. L'eau Marcia, la plus pure, était réservée pour les usages domestiques. Les autres eaux servaient à des usages moins délicats; l'eau Anio était exclusivement employée à l'arrosage des jardins et aux usages les plus grossiers de la ville.

Aujourd'hui, Rome, réduite à 170,000 habitants, ne reçoit plus que 180,000 mètres cubes par 24 heures environ, volume encore très-considérable, puisqu'il donne par tête plus de 1,000 litres d'eau pure par jour. L'eau Vierge est de très-bonne qualité. L'eau Paola renferme peu de matières salines, mais elle est souvent souillée de débris végétaux et de limon. L'eau Felice est la moins bonne; elle est assez chargée de sels et contient 0gr,23 à 0gr,24 de carbonate de chaux par litre. Elle incruste à la longue les tuyaux secondaires éloignés de l'origine de la distribution.

On va voir combien les villes les plus favorisées sont loin d'atteindre ces chiffres élevés.

La distribution des eaux a lieu à Londres par neuf compagnies qui alimentent en grande partie leurs conduites avec l'eau de la Tamise; voici le résumé des opérations de ces compagnies en 1853, d'après un document officiel.

NOMS des COMPAGNIES.	Nombre moyen de litres distribués par jour.	Nombre de maisons alimentées.	Nombre d'établissements et d'usines desservis.
New-River. . .	79,680,118	90,540	414
East-London. .	54,180,554	63,143	463
West-Middles.	22,720,443	24,376	54
Great-Junction	23,213,854	46,019	»
Southwark et Wauxhall. . .	33,018,786	40,046	634
Lambeth. . . .	24,456,994	25,583	524
Chelsea	25,588,765	22,725	2,094
Kent	8,364,213	14,573	70
Hampstead . .	2,759,554	5,454	»
	274,313,168	302,429	

Ce qui porte la distribution, par jour et par habitant, à un peu plus de 100 litres; mais on doit déduire de ce chiffre :

Le service des usines s'élevant à. . .	7,71 p. 100.
Le lavage des rues.	1,69
Les chasses dans les égouts	1,10
Le service des incendies	0,34
En tout	10,84 p. 100.

Ce qui réduit à 90 litres environ la consommation des maisons d'habitation par habitant.

Sur la totalité des maisons de Londres 5 à 6 p. 100 au plus n'ont pas de distribution. La taxe d'abonnement

varie de 5 à 7 p. 100 du prix de location des maisons. Il y a d'ailleurs des tarifs particuliers pour les chevaux, les voitures, les bains, les cabinets d'aisances, etc.

A Preston, le volume d'eau distribué par jour et par habitant est de 73 litres. On compte cinq habitants par maison.

A Nottingham on distribue par habitant 75 à 80 lit. d'eau par jour.

A Hull les machines distribuent 173 litres par jour et par tête.

A Ashton-under-Lyne, la compagnie distribue une quantité d'eau assez variable d'un jour à l'autre, mais qui en moyenne par jour et par tête s'élève à 32lit.2 seulement. Il y a en moyenne 5 1/2 habitants par maison.

Le chiffre, cité en dernier lieu, est beaucoup trop bas. Les ingénieurs anglais admettent, comme résultat général, que la consommation doit s'élever à 100 litres au moins par habitant et par jour, dont 70 pour les besoins domestiques. Pendant l'été le service doit pouvoir monter à 150 litres.

Ces chiffres, du reste, ne sont pas très-comparables aux nôtres, parce que les services publics extérieurs sont beaucoup plus importants en France qu'en Angleterre, et que, dans la plupart de nos villes, la population par maison est beaucoup plus grande qu'en Angleterre.

L'aqueduc Croton, si justement célèbre, amène à New-York 115 à 120 litres d'eau par 24 heures et par tête. Il a été construit de manière à assurer facilement un débit régulier de 140,000 mètres cubes par jour, qui pourrait, au besoin, être porté à 250,000 mètres cubes. L'aqueduc qui amène l'eau du bassin de retenue, formé en barrant la rivière, a 65 kilom. de longueur. Le réservoir où arrivent les eaux dans la ville contient 681,000 mètres cubes.

La ville de Bruxelles a fait établir, il y a peu d'années, une distribution d'eau de sources. Son débit est de 20,200 mètres cubes par 24 heures, soit, pour 250,000 habitants, une moyenne de 80 litres par tête. La dépense d'établissement s'est élevée à 30 fr. environ par habitant, tout compris.

Les machines qui élèvent l'eau à Lyon ont été calculées pour assurer un débit journalier de 15,000 mètres cubes pour le bas service, atteignant une hauteur de 18 mètres au-dessus de l'étiage du Rhône, et de 5,000 mètres cubes pour le haut service atteignant une hauteur de 110 mètres, soit en tout 20,000 mètres cubes pour 234,500 habitants, soit 85 litres par tête. La dépense d'établissement a été de 26 à 27 fr. par habitant.

Les eaux amenées à Bordeaux sont recueillies par un aqueduc à barbacanes dans le coteau d'où elles émergent; elles sont montées par des machines dans les réservoirs de distribution. On a calculé sur un débit journalier de 22,000 mètres cubes, soit 170 litres par habitant. La taxe est de 10 fr. par an, par hectolitre journalier pour les usages domestiques, et de 3 francs seulement pour les usages industriels. La dépense de premier établissement a été de 32 fr. environ par habitant.

La distribution des eaux de Nantes a lieu par machines qui puisent dans la Loire. Il y a deux systèmes de conduites : les unes sont destinées aux eaux troubles pour le service public, dont le volume quotidien est de 4,000 mètres cubes; les autres porteront l'eau filtrée pour les usages domestiques dont le volume sera de 2,000 mètres cubes, soit en tout 6,000 mètres pour 100,000 habitants, ou 60 litres par tête.

Besançon est alimenté par une source ; la ville reçoit par jour 8,600 mètres cubes d'eau pour 35,000 habitants, soit 246 litres par tête. La dépense des travaux a été de 1,600,000 fr.

Dijon, depuis les beaux travaux de M. Darcy, reçoit, de la source du Rosoir, 300 à 400 litres par habitant et par jour, en général; au moment du plus bas étiage, le débit est encore environ de 240 litres.

A Carcassonne la distribution est de 400 litres par jour et par tête environ. La dépense d'établissement s'est élevée à 49 fr. 46 c. par habitant.

A Béziers, la distribution faite par machines à vapeur est de 10 à 12 litres par jour et par tête.

A Toulouse, les machines hydrauliques qui approvisionnent la ville fournissent 75 à 80 litres d'eau par jour et par habitant.

Arrivons, enfin, à la distribution d'eau de Paris dans son état actuel. Nous indiquerons plus loin les dispositions principales du vaste projet de M. Belgrand, à la réalisation duquel l'administration municipale attache aujourd'hui un si grande intérêt.

Le volume d'eau actuellement disponible à Paris, non compris le produit de la machine du Gros-Caillou, se décompose de la manière suivante :

Canal de l'Ourcq.	99,806	mèt. cubes.
Pompe de Chaillot, eau de Seine.	38,391	—
Pompe d'Austerlitz, eau de Seine.	768	—
Aqueduc d'Arcueil	1,536	—
Puits artésien de Grenelle. . .	864	—
Sources du Nord, Belleville, près Saint-Gervais.	480	—
Total.	141,845	mèt. cubes.

Ce qui donnerait environ 142 litres par habitant; mais l'insuffisance des conduites et la trop faible hauteur des niveaux ne permettent pas, à beaucoup près, d'utiliser toutes ces ressources. En ce moment (rapport du préfet de la Seine, 4 août 1854) la quantité d'eau appliquée à tous les services de distribution est de 86,777 mètres cubes par jour, savoir :

Services publics.		
Fontaines monumentales.	9,910	
— de puisage.	4,630	
Bornes fontaines et bouches sous trottoirs.	35,600	
Poteaux d'arrosement, bouches d'incendies, etc.	5,900	
Ensemble.		56,040
Services privés.		
Fontaines marchandes	1,170	
Concessions à l'État	3,843	
— au département	88	
— aux établissements municipaux.	7,812	
— aux particuliers	17,824	
Ensemble.		30,737
Total général.		86,777

Les concessions particulières, au nombre de 7,633, se décomposent ainsi :

402	lavoirs.	2,380
437	établissements de bains. . .	2,206
1,115	industries diverses.	4,118
6,229	maisons d'habitation. . . .	9,120
7,633		17,824

La consommation augmente, du reste, rapidement : ainsi de 1854 à 1858 le nombre des maisons abonnées aux eaux de Paris s'est élevé de 6,229 à 7,085. Le débit des fontaines marchandes s'est élevé de 1,170 mètres cubes par jour à 1,472 mètres cubes

Le nombre des maisons de Paris étant de 32,250, on voit combien est faible la fraction des maisons abonnées. Il est dès lors difficile de préciser avec certitude l'importance du volume d'eau employé aux usages domestiques; mais on sera certainement audessus de la vérité si l'on réunit aux quantités distribuées dans les maisons d'habitation, ou débitées par les fontaines marchandes, celles qui s'écoulent par les fontaines affectées au puisage gratuit et le quart de celles que versent sur la voie publique les bornes-fontaines où le puisage est toléré; on trouve ainsi que ce volume est de 25,887 mètres cubes ainsi composé (1857).

Abonnement du service municipal.	12,365	mèt. cubes.
Fontaines marchandes.	1,472	—
Fontaines de puisage.	3,150	—
Un quart du produit des bornes-fontaines.	8,900	—
Total.	25,887	mèt. cubes.

Soit 20 à 25 litres par tête et par jour.

Les redevances payées à la ville, pour les concessions en 1857 se décomposent de la manière suivante :

État, département, ville, assistance publique.	120,716
Bains et lavoirs	169,167
Industries.	360,377
Maisons particulières.	636,343
Fontaines particulières.	386,894
Total.	1,673,497

Cette somme ne représente que la moindre partie des dépenses imposées au public pour sa consommation d'eau. Les 25,464 maisons qui n'ont pas de distribution sont ordinairement pourvues de puits et de pompes. Mais la mauvaise qualité des eaux de cette nature les rend impropres à la cuisson des légumes, à la boisson, à l'emploi du savon; les habitants de la plupart des maisons de Paris sont donc obligés de se fournir d'eau de meilleure qualité, en allant péniblement la puiser aux fontaines du voisinage, ou en l'achetant aux porteurs d'eau.

Les porteurs d'eau vendent l'eau 10 c. la voie de 20 litres, ou, par abonnement, 2 fr. ou 2 fr. 50 c. les 30 voies par mois. D'après des recherches très-détaillées, il est distribué ainsi, à peu près, 1,380,000 mètres cubes d'eau par an, représentant une dépense de 6,000,000 fr. pour les habitants; c'est-à-dire que le mètre cube d'eau, qui coûte par abonnement pris à la ville, 0f,276 environ (100 fr. par an pour 1 mètre cube par jour), coûte 12 à 19 fois autant par les porteurs d'eau.

On voit par ces chiffres combien il est nécessaire d'améliorer le service des eaux de Paris, pour que les distributions particulières se multiplient, comme elles le sont à Londres et dans la plupart des villes bien approvisionnées d'eau.

Les ingénieurs de Paris estiment, dans les grands projets qu'ils ont étudiés et dont on parlera un peu plus loin, que la consommation pour les usages domestiques doit être estimée à 50 litres, et qu'il faut également doubler le volume des eaux consacrées aux usages publics, ce qui porterait le volume total des eaux de Paris, en prévision du chiffre prochain de sa population, à 200,000 ou 210,000 mètres cubes par 24 heures.

Si l'on résume les conséquences à déduire des remarques et des exemples qui précèdent, on sera conduit à admettre, comme on l'a dit en commençant, qu'une distribution d'eau ne saurait être trop abondante, mais que la nécessité de réduire les dépenses oblige à tenir compte du volume strictement nécessaire. Pour arriver à la détermination exacte de ce volume, il convient de rappeler d'abord les principaux usages de l'eau dans les villes, en indiquant le volume nécessaire à chaque service, selon les circonstances.

Les principaux emplois de l'eau dans les villes sont : 1° les usages domestiques, comprenant la boisson, les soins de propreté, le lavage des cours, etc.; 2° la consommation industrielle dans les manufactures; 3° les établissements de bains, les buanderies, les édifices publics; 4° le nettoyage et l'arrosage des rues; 5° la fourniture des fontaines et des jardins publics; 6° le service des incendies, heureusement bien peu important en général et toujours facile à satisfaire, par des emprunts aux eaux destinées aux usages 4° et 5°.

Les ingénieurs anglais estiment, en moyenne, que les articles 1°, 2° et 3° exigent 50 litres par jour et par habitant; quant aux articles 4° et 5°, ils pensent qu'il suffit de leur consacrer une couche d'eau de 0m,65, supposée répartie uniformément à la surface de la ville entière, soit 6,500 mètres cubes par an et par hectare; de sorte que, dans la plupart des villes anglaises, la distribution totale devrait être fixée de 140 à 160 litres par jour et par habitant.

Cette évaluation en bloc paraît s'appliquer assez bien à la France; cependant je la regarde comme un peu faible en général, si l'on tient compte de l'accroissement de consommation qui résulte toujours du développement de la richesse publique. Quelques explications sont encore nécessaires à ce sujet.

Le système des cabinets d'aisances influe beaucoup sur la dépense d'eau dans l'intérieur des maisons. Les fosses exigent beaucoup moins d'eau que le coulage direct à l'égout. Sous ce rapport, la consommation d'eau serait généralement moins forte en France qu'en Angleterre; mais, d'un autre côté, le service public du nettoyage des rues et des fontaines monumentales est habituellement plus considérable chez nous.

Voici, du reste, d'après M. Dupuit, les évaluations adoptées, à Paris, pour les abonnements :

Par personne et par jour.	20 litr.
Par cheval et par jour.	75
Par voiture à deux roues et par jour.	40
Par voiture à quatre roues et par jour.	75
Par mètre carré de jardin, 500 litres par an, par jour	1,5
Par bain	300

Ces évaluations sont un peu faibles, il faut bien le reconnaître, et l'on prend toujours de plus larges bases pour la rédaction des projets.

L'arrosement des voies publiques consomme, à Paris, 1 litre environ par mètre carré. On arrose l'été deux ou trois fois par jour.

Les bornes-fontaines, dans les villes convenablement arrosées, ne doivent pas servir au lavage de plus de 300 mètres de ruisseaux. Elles doivent débiter 100 à 110 litres par minute. A Paris, elles sont ouvertes, en général, trois heures par jour en trois fois et débitent chacune par conséquent 21 mètres cubes environ par vingt-quatre heures.

Le débit des fontaines monumentales varie naturellement avec leur importance. Nous réunissons, comme terme de comparaison, les chiffres suivants :

	DÉBIT	
	Par seconde.	Par heure.
Gerbe du Palais-Royal, à Paris . .	23l,0	82m.c.,8
Gerbe du rond-point des Champs-Élysées, à Paris	25,0	90,0
Gerbe du Boulingrin, à Toulouse.	16,0	58,3
Gerbe de la porte Saint-Pierre, à Dijon	20,0	72,0

	DÉBIT Par seconde.	DÉBIT Par heure.
Vasque de la porte Guillaume, à Dijon	9l,1	33mc,0
Fontaine de la Trinité, à Toulouse.	1 ,4	5 ,0
Fontaine de la place Bourbon, à Toulouse.	13 ,9	50 ,0
Fontaine de la place Saint-Georges.	1 ,0	3 ,6
Chaque fontaine de la place de la Concorde, à Paris	55 ,0	198 ,0
Fontaine de la place Richelieu, à Paris.	9 ,0	32 ,4

Les lavoirs consomment par journée de travail de 2 à 4 mètres cubes d'eau par pièce. La consommation des industries ne peut être connue que par une enquête faite dans chaque établissement.

L'ingénieur qui rédige un projet de distribution d'eau n'a pas seulement besoin de connaître le volume total qui lui est nécessaire, il faut encore qu'il calcule la consommation de chaque artère de la canalisation souterraine pour proportionner le diamètre des tuyaux au débit qu'ils doivent fournir et à la pression intérieure du liquide. Ce calcul sera facile à faire d'après ce qui précède; il suffira d'évaluer la population de chaque rue et d'ajouter au chiffre de la consommation domestique le débit des bornes-fontaines placées tous les 200 ou 300 mètres, celui des fontaines monumentales et enfin celui des établissements publics ou industriels placés sur la même conduite. Nous recommanderons seulement de faire un large retranchement toutes ces évaluations pour parer à toutes les éventualités.

§ III. MOYENS D'OBTENIR L'EAU POUR L'ALIMENTATION DES VILLES.

Les eaux destinées à l'alimentation des villes sont de diverses natures; nous les indiquerons successivement.

Les *sources naturelles* fournissent les eaux les plus convenables pour les distributions publiques ou privées, quand leur composition chimique est d'ailleurs satisfaisante. Les eaux de source, en effet, sont limpides et leur température est ordinairement très-peu variable, condition d'une très-haute importance pour les usages domestiques et industriels.

La théorie des sources a fait de très-grands progrès depuis quelques années. Le développement pratique des études géologiques, les études spéciales d'un certain nombre de personnes sur les moyens de découvrir les sources, les grands travaux de drainage, ont dirigé l'attention sur ce point spécial de la physique du globe. Ce serait peut-être nous écarter de notre sujet que d'aborder cette question, qui exigerait d'assez longs détails; nous nous bornerons, par conséquent, à indiquer les travaux nécessaires pour réunir et utiliser une source connue.

Ces travaux sont généralement assez simples. On commence par curer à vif le bassin de la source. On se rend bien compte des points où l'eau arrive le plus abondamment en jetant à la surface de l'eau des corps légers, dont les mouvements indiquent la direction des courants. On dégage alors un peu ces issues, et, au besoin, on abaisse, si on le peut, le niveau naturel d'écoulement de l'eau du bassin de la source, pour augmenter et régulariser son débit. On entoure alors le bassin de murs épais, établis en dehors de son périmètre, et on le recouvre d'une voûte en maçonnerie, pour mettre l'eau à l'abri de la chute des corps étrangers et de la malveillance. L'aqueduc de la conduite des eaux communique avec le bassin de la source ainsi protégée.

Le tracé des fondations des murs d'enceinte exige une certaine attention. Il faut les faire reposer sur un fond très-solide, et s'assurer, dans tous les cas, que leur pression ne peut pas modifier les fissures souterraines par lesquelles les eaux affluent naturellement. Lorsque le pourtour du bassin de la source est en rocher compacte, ce qui arrive souvent, le travail est fort simple. Dans le cas contraire, l'ingénieur doit procéder avec une extrême prudence, et souvent exécuter des travaux de captation assez considérables, pour assurer la fixité du bassin de la source, par des procédés artificiels imitant, autant que possible, les moyens employés par la nature elle-même dans les sources qui sortent des rochers plus ou moins fissurés.

L'enceinte couverte qui renferme la source, ou la tête de l'aqueduc d'écoulement, doit présenter divers ouvrages dont les dimensions varient avec l'importance du volume d'eau, mais qui doivent assurer les moyens: 1° d'entrer dans la chambre de la source pour la visiter ou la nettoyer au besoin; 2° d'assurer aux eaux un écoulement au dehors, quand on est obligé de les empêcher d'entrer dans l'aqueduc pour le réparer; 3° de donner issue au trop plein des eaux, en cas de crue ou de diminution d'écoulement dans l'aqueduc, afin que, dans aucun cas, le niveau des eaux dans le bassin de la source ne puisse s'élever au-dessus du niveau qui leur a été fixé. Un excès de pression sur la sortie d'une source peut souvent déranger son régime, et quelquefois la perdre entièrement, en l'obligeant à chercher une autre issue.

Les villes assez favorisées pour trouver dans leur voisinage des sources abondantes d'eau de bonne qualité sont malheureusement peu nombreuses. On est donc souvent obligé de faire des recherches d'eaux souterraines, ou de recueillir les eaux de pluie filtrées à travers les couches perméables du sol, par de véritables drainages d'une importance plus ou moins considérable. On parvient ainsi à créer de véritables *sources artificielles*, dont les eaux sont ensuite conduites dans les villes. Des sources peu abondantes, ou d'un débit irrégulier, servent souvent d'indice et de guide pour les recherches et les travaux de cette nature, et ajoutent leurs eaux à celles que l'art obtient en abondance. On passe ainsi, par transitions insensibles, des sources naturelles, dont il suffit de conduire les eaux, aux sources entièrement dues à la main de l'homme et créées au sein de terrains à la surface desquels n'apparaissait aucune eau. Les travaux analogues à ceux dont nous parlons maintenant sont extrêmement variés; ils exigent un grand esprit d'observation, et souvent de profondes connaissances de géologie et d'hydrologie. Il serait difficile, par conséquent, de donner à cet égard des règles pratiques et très-précises. Quelques exemples et quelques indications générales seront plus utiles que des préceptes absolus.

L'art de rechercher les sources et de capter les eaux souterraines par des procédés analogues à ceux du drainage est assurément très-ancien. Les câris de la Perse, beaucoup de travaux romains, l'attestent suffisamment. Mais il est certain que cette pratique, qui avait été autrefois très-employée en France, si l'on en juge par les nombreux exemples que l'on en rencontre, paraît avoir été, sinon complétement oubliée, au moins assez négligée depuis un siècle, ou un siècle et demi, et on comprend très-bien que l'on ait pu, de très-bonne foi, présenter comme des inventions nouvelles des méthodes dont les exemples se retrouvent dans presque tous les grands domaines seigneuriaux ou d'ordres religieux. Les eaux de Gesvres, de Ris, des prés Saint-Gervais ne sont point obtenues autrement.

On a déjà expliqué, en parlant du drainage des sources (Voy. art. AGRICULTURE), le principe du plus grand nombre des recherches d'eau. C'est à la surface des couches imperméables, recouvertes de couches per-

méables, ou au centre même de très-grandes masses perméables, qu'il faut aller saisir et réunir les filets d'eau dont l'ensemble doit former la source artificielle.

Ces recherches d'eau se font par des procédés très-divers, suivant les pays et les circonstances. Tantôt, les eaux sont recueillies par des galeries souterraines plus ou moins importantes, dont le fond est étanche pour recueillir et conduire les eaux, tandis que les parois sont poreuses ; tantôt on a recours aux procédés ordinaires et plus simples du drainage avec tuyaux ou pierrées, pour amener à la surface les eaux qui s'écoulaient sans profit à une petite profondeur au-dessous du sol.

Il serait impossible, sans multiplier inutilement les figures, d'indiquer les constructions variées adoptées dans le cas qui nous occupe. On se bornera à citer, comme exemple de cette classe de procédés, la disposition adoptée par M. Belgrand pour la distribution d'eau d'Avallon. La voûte de l'aqueduc, dans la traversée des terrains sourciers, a été percée (fig. 3494)

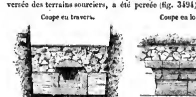




Fig 3494. — Aqueduc avec pierrée et barbacanes pour recueillir des eaux de source. (Échelle de 0,025.)

de barbacanes nombreuses. Une pierrée de 0m,25 d'épaisseur a été en outre disposée de chaque côté et au-dessus de l'aqueduc pour faciliter l'entrée des eaux dans la cuvette étanche de la conduite. Cette disposition, plus ou moins modifiée selon les localités, est évidemment applicable à tous les cas analogues.

Depuis quelques années on s'est beaucoup occupé des sources artificielles obtenues par des méthodes que l'on vient d'indiquer, et l'on a fondé de grandes espérances sur l'emploi de ces moyens pour l'approvisionnement des villes les plus importantes. Quelques renseignements ne seront pas inutiles sur ces questions encore peu connues.

L'exemple du bourg de Farnham, en Angleterre, où le drainage de moins de deux hectares a permis de fournir en abondance une eau excellente à une population de 3,500 âmes, a fait beaucoup de bruit il y a quelques années. On a même proposé de fournir de l'eau à la ville de Londres par des travaux analogues. Mais l'incertitude inévitable des opérations de cette nature a fait renoncer à ce projet, qui avait été chaudement patronné par la *board of Health*. A Bruxelles, une proposition analogue a également été repoussée.

Le succès obtenu à Farnham est en effet le résultat d'un heureux concours de circonstances géologiques exceptionnellement favorables, qu'on ne saurait espérer de rencontrer souvent. Tout le monde sait en effet que les drainages ordinaires cessent de couler une grande partie de l'année, et qu'il serait dès lors impossible d'employer leurs produits à l'alimentation régulière d'une ville. J'ai exécuté plusieurs drainages qui, ayant rencontré des sources permanentes, donnent un débit continu. L'un d'eux alimente un moulin, un autre fournit l'eau potable à une ferme, et un troisième dessert un hameau assez populeux. Malgré ces exemples de succès que je pourrais multiplier beaucoup, je n'oserais presque jamais promettre à l'avance de réussir dans un travail de cette nature. Les probabilités sont quelquefois très-grandes, mais la certitude n'existe presque jamais. C'est dire avec quelle prudence il faut entreprendre les essais de cette nature.

L'étude attentive des belles sources naturelles indique d'ailleurs les conditions qu'il faut chercher à réaliser artificiellement et sans lesquelles il y aurait folie à espérer d'obtenir, avec une régularité suffisante, un volume d'eau déterminé.

Personne ne doute aujourd'hui que la pluie ne soit l'origine des sources. Pour qu'une source coule d'une manière continue, alors que la pluie est souvent plusieurs mois sans tomber, il faut donc que la masse perméable qui absorbe une partie de l'eau de pluie tombée à sa surface n'agisse pas seulement comme un filtre, mais encore et surtout comme un vaste réservoir, régulateur de l'écoulement. La vitesse de l'eau dans les conduits capillaires qui existent dans le sol est très-faible ; elle ne devient très-sensible que dans les fissures un peu larges, ou les bancs très-poreux, qui figurent, au sein de la terre, des lignes principales d'écoulement analogues à nos ruisseaux et à nos rivières de la surface. Dans les sources remarquables par leur régularité, l'eau qui s'écoule à un moment donné est tombée depuis fort longtemps, depuis des mois et souvent depuis des années. Si l'on voit les sources augmenter aussitôt après les grandes pluies, ce n'est pas en général, au moins quand il s'agit de grandes sources, par l'écoulement de l'eau qui vient de tomber. L'eau de la crue est tombée depuis longtemps, elle a traversé le sol, elle se trouve plus ou moins rapprochée de son point de sortie, et son accélération de vitesse est due seulement à l'augmentation de pression qui peut résulter de l'introduction de nouvelle eau à la partie supérieure de la masse poreuse traversée par les fissures capillaires par lesquelles l'eau s'élance. On s'explique facilement, du reste, la faible vitesse de l'eau dans les masses poreuses, par la résistance que le frottement oppose au mouvement et surtout par les actions capillaires très-énergiques exercées sur l'eau par des surfaces aussi multipliées que celle d'une masse poreuse. Une source n'est donc que l'écoulement d'un amas d'eau intérieur dont les mouvements sont ralentis et régularisés par la résistance de la masse solide du terrain perméable.

Pour que le drainage d'un terrain fournisse une source, il faut donc que la couche poreuse qui reçoit les eaux présente une épaisseur verticale suffisante au-dessus des tuyaux collecteurs, ou une puissance assez considérable sur les plateaux qui dominent l'emplacement de ces mêmes tuyaux, pour que l'eau mette à traverser cette masse un temps plus long que celui qui peut s'écouler entre de fortes pluies. Cette condition est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante. Il faut encore que la disposition du sous-sol imperméable qui empêche le mouvement vertical de l'eau, ou au moins que la direction des lignes principales de suintement dans la masse poreuse soient telles que les eaux rencontrent les collecteurs et puissent s'y écouler. Ces dernières conditions sont encore plus difficiles à prévoir que les premières.

Quant au volume d'eau que l'on peut espérer de réunir par un travail de recherches, l'incertitude est plus grande encore. On peut assez souvent fixer un maximum impossible à dépasser, mais il est très-rare que l'on puisse prévoir à l'avance le volume à attendre des travaux.

C'est encore l'observation des plus belles sources naturelles qui peut donner quelque renseignement sur ce point.

Les sources du mont Ventoux sont un des exemples les plus nets que l'on puisse citer. Le mont Ventoux présente, comme on sait, à peu près la forme d'un demi-ellipsoïde de 25 kilom. de longueur sur 7kil.5 de lar-

geur. Sa hauteur est de 1,960 mètres au-dessus du niveau de la mer. La masse de cette montagne, composée de calcaire néocomien entièrement perméable, repose sur une couche imperméable. Cette couche paraît former une espèce de vallon à double pente, dirigé de l'est à l'ouest comme le grand axe de l'ellipsoïde; elle affleure le sol à l'ouest à peu près à 385 mètres au-dessus du niveau de la mer. On trouve en ce point la source de Malaucène, ou Groseau. A l'est, à un niveau moins élevé, on rencontre d'autres sources moins importantes, mais encore assez remarquables. Sur tout le reste du plateau, on ne trouve pas une source et on n'a pas même essayé d'y creuser de puits dont la profondeur eût été excessive. La disposition de la couche imperméable et l'existence des filets d'eau qui s'y rassemblent ont été vérifiées par l'expérience. Un cultivateur placé au bas de la montagne vers le sud, où l'épaisseur de la couche perméable est considérablement réduite, a fait percer plusieurs puits; il les a réunis souterrainement par une galerie soutenue à l'amont par un mur à pierres sèches, et à l'aval par un mur bétonné. Cette galerie-conduite, convenablement prolongée, amène à ciel ouvert une assez belle source. Les sources qui sortaient plus bas, dans la partie correspondante, ont été coupées et ont cessé naturellement de couler.

Le débit des diverses sources dont on vient de parler est de 2 à 3 mètres cubes par seconde. On estime qu'il tombe $0^m,85$ de hauteur d'eau par an sur le plateau de cette montagne, qui a 15,000 hect. Ce qui fait un volume de $150,000,000 \times 0,85 = 127,500,000$ mètres, ou bien un débit de $\frac{127,500,000}{365 \times 24 \times 60 \times 60}$ $= 4$ mètres cubes. Les sources débitent un peu plus de la moitié de ce volume d'eau, le reste s'évapore ou pénètre à de plus grandes profondeurs. La disposition des lieux est telle que très-peu d'eau doit s'échapper de cette façon, de sorte que l'on peut regarder un peu plus de 1/2 comme le plus grand rapport de la pluie tombée à la pluie recueillie qu'il soit possible d'espérer dans les conditions habituelles.

La célèbre fontaine de Vaucluse, qui débite 10 à 12 mètres cubes, est à peu près dans les mêmes conditions. Son bassin de réception, également formé de calcaire très-perméable, a 96,500 hect. On ne trouve ni ruisseau ni puits sur cette surface. Elle reçoit environ par an 820,250,000 mètres cubes, répondant à un débit permanent de 26 mètres cubes environ, c'est-à-dire encore à peu près double de celui de la fontaine.

Dans les travaux de drainage ou de captation d'eau, il serait imprudent de compter sur un chiffre de rendement aussi élevé. Il faut pour l'obtenir des circonstances exceptionnellement heureuses. M. Paramelle estime que des couches très-poreuses, de 2 à 8 mètres d'épaisseur, reposant sur un sol imperméable convenablement incliné, produisent après une sécheresse ordinaire 1,152 litres par jour et par hectare; c'est environ un douzième de la pluie moyenne annuelle tombée sur cette surface. Ce rapport, considéré comme résultat moyen, me paraît assez exact; mais il ne faut pas perdre de vue les observations qui précèdent relatives à la puissance de la masse poreuse nécessaire pour régulariser le débit.

Fécamp, Hazebrouck et un certain nombre d'autres villes sont alimentées par des travaux de drainage ou des galeries de recherches percées à la limite des terrains perméables et des terrains imperméables.

Le grand projet d'approvisionnement de Paris étudié par M. l'ingénieur en chef Belgrand, dont s'occupe en ce moment l'administration municipale, a pour base des travaux de captation et des recherches d'eau analogues à ceux dont on vient de parler.

Le volume d'eau que l'on désire amener est de 100,000 mètres cubes par jour, soit 1,160 litres par seconde. M. Belgrand avait proposé d'abord de dériver les eaux de la Somme et de la Soude, et au besoin celles du Sourdon et de la Dhuis. En octobre 1855, époque des plus basses eaux, ces sources donnaient, en effet, par seconde :

Eaux de la Somme et de la Soude.	1,081 lit.
Source du Sourdon	100
Source de la Dhuis.	315
	1,496

En 1857, la Somme donnait encore 880 litres; mais, en 1858, son débit s'est réduit à 285 litres, bien que les deux autres sources aient peu varié. Ces irrégularités de débit, incompatibles avec l'alimentation d'une grande ville, ont nécessité de nouvelles études. Le projet actuel comprend donc deux systèmes différents à l'aide desquels on obtiendrait l'approvisionnement normal de 100,000 mètres cubes par jour; ils consistent : 1° en dehors des vallées de la Somme et de la Soude, à pénétrer par des galeries souterraines de drainage au milieu de la nappe d'eau déposée par les pluies dans l'épaisseur de la craie tendre, où elle est retenue par la couche d'argile sur laquelle repose la craie, tout en se dirigeant, d'un mouvement lent, par la pente naturelle de cette couche imperméable, soit vers le fond du bassin géologique dont Paris occupe le centre, soit vers les coupures qui lui offrent des moyens d'écoulement; 2° dans ces mêmes vallées, à augmenter le débit des sources en les prenant à un niveau inférieur, si, ce qui semble peu probable, on devait en venir à utiliser ces sources.

L'espoir du succès de cette recherche d'eau est principalement fondé sur les observations suivantes : 1° la surface du bassin de la Vanne, qui est très-bien limité, est de 900 kilomètres carrés; il reçoit par an 540 millions de mètres cubes d'eau de pluie et il en rend chaque année, par les cours d'eau, 31 à 135 millions, soit $\frac{1}{10}$ à 1/4 de ce qu'il reçoit. 2° Le bassin de la Somme-Soude a 300 kilomètres carrés de superficie; il reçoit 180 millions de mètres cubes d'eau de pluie et en restitue par ses sources de 8,987,000 à 36 millions de mètres cubes, soit 1/5 à $\frac{1}{10}$ de l'eau tombée. Or la portio du bassin crayeux comprise entre la vallée de l'Aisne et celle de l'Aube, que l'on suppose devoir concourir à l'alimentation des sources à créer, a 5,300 kilomètres carrés et reçoit 3,180 millions de mètres cubes par an. Le volume de 100,000 mètres cubes, soit 36,500,000 par an que l'on veut en tirer, n'est que $\frac{1}{84}$ du volume reçu, ou moins de $\frac{1}{4}$ du volume que restituent naturellement des terrains de cette espèce.

Ce rapprochement montre en effet la possibilité d'obtenir le volume d'eau nécessaire, mais il ne fournit aucun renseignement sur la longueur à donner aux galeries de suintement, et par suite sur les dépenses relatives à la création des sources artificielles.

Les eaux ainsi recueillies en Champagne seraient amenées par un aqueduc dans un vaste réservoir situé à la cote de 83 mètres pour desservir les étages supérieurs des plus hautes maisons de Paris.

Les eaux de la craie sont limpides, d'une température peu variable et d'une pureté satisfaisante, bien que chargées de calcaire en assez forte proportion; elles remplissent donc les conditions de bonnes eaux. Je ne sache pas qu'on ait déterminé les proportions et la nature des gaz qu'elles tiennent en dissolution, renseignement indispensable, comme on l'a dit, à une étude complète; elles doivent renfermer des nitrates, mais je n'en connais pas la proportion.

Il est à craindre que la qualité des eaux de la Champagne ne soit modifiée d'une manière très-désavantageuse par les progrès de la mise en culture de cette vaste con-

trée, aujourd'hui déserte. Dans beaucoup de points, la surface du sol est assez rapprochée du plan d'eau pour que les matières organiques des fumiers soient entraînées à travers les fissures du terrain, l'absence totale d'argile ne permettant pas d'espérer que ces matières soient retenues dans la couche perméable. Dans tous les cas, il se formera des nitrates et la proportion de sels de chaux dans les eaux pourra dépasser de beaucoup celle qui existe aujourd'hui.

Les travaux projetés, non compris ceux de la distribution dans Paris, sont estimés 30 millions de francs, et on a vu que leur exécution comporta des éventualités considérables pour les travaux souterrains de recherches d'eau. On indiquera un peu plus loin, en parlant de l'emploi des machines, d'autres projets présentés en même temps que le précédent, mais qui n'ont point semblé à l'édilité parisienne aussi dignes de la grandeur de la capitale.

Les eaux de rivière, élevées par des machines ou dérivées par des canaux spéciaux, sont très-fréquemment employées aux approvisionnements des grandes villes. Ces eaux, dont la composition est très-variable, non-seulement d'un fleuve à l'autre, mais pour un même cours d'eau d'une saison à l'autre, présentent en général deux inconvénients pour cet usage. Leur température varie continuellement dans des limites très-étendues; d'un autre côté, elles sont rarement complétement limpides et deviennent souvent, en temps de crue surtout, complétement troubles.

Les eaux de source sont donc, en principe, bien préférables aux eaux de rivière; cependant, presque toutes les grandes villes sont approvisionnées par la rivière qui les traverse, les économies réalisées sur les frais de premier établissement compensant et au delà les frais de filtrage. Dans les villes importantes, la solution la plus satisfaisante consiste bien souvent à organiser deux systèmes de distribution, l'un pour les eaux de source habituellement peu abondantes et réservées aux usages domestiques, l'autre fournissant à profusion les eaux de rivière pour les usages grossiers du nettoyage des voies publiques, etc.

Les ouvrages de prise d'eau en rivière n'ont rien de particulier: s'il s'agit de prendre l'eau au-dessus de la ville pour l'amener par un canal de dérivation à une hauteur convenable, ce sont des barrages ou des épis ordinaires placés en tête des dérivations; s'il s'agit seulement d'élever l'eau à l'aide de machines, ce sont de simples galeries de puisage perpendiculaires au cours d'eau. Quelquefois encore le barrage de la rivière, établi dans un point escarpé de son cours et dans toute la largeur de son lit, transforme en vaste réservoir une partie de la vallée. C'est ainsi, par exemple, que le barrage construit dans le lit de la rivière Croton, pour la distribution de New-York, produit un vaste bassin de réserve de 2,724,000 mètres cubes de capacité.

On reviendra plus en détail sur l'emploi des eaux de rivière en parlant des moyens de les élever. Considérées d'une manière générale comme moyen d'obtenir l'eau pour les villes, il n'y a pas à s'y arrêter davantage.

Bien que l'eau des *puits ordinaires* entre souvent pour une forte part dans l'approvisionnement des villes ou des hameaux, nous n'avons pas à nous en occuper ici. Ce sont des ouvrages essentiellement privés. En général, l'eau des puits peu profonds creusés au sein des villes est de très-mauvaise qualité. Elle est souillée par beaucoup de matières étrangères.

Les *étangs* sont quelquefois employés pour réunir et emmagasiner les eaux de pluie destinées à l'alimentation d'une ville. C'est ainsi, par exemple, que les eaux blanches de Versailles sont recueillies par un immense système de rigoles qui sillonnent toutes les campagnes environnantes, puis versées dans les étangs d'où on les extrait pour les usages auxquels on les destine. Les étangs, proprement dits, généralement peu profonds et mal alimentés, ne fournissent que des eaux stagnantes, variables de température et souvent infectes. Les lacs profonds, alimentés d'eaux vives, sont, au contraire, d'excellents réservoirs. Le lac Katrin, qui alimente Glascow, est un exemple remarquable de distribution de cette espèce.

Les puits artésiens, ou puits jaillissants, peuvent rendre de très-grands services à l'approvisionnement des villes. Leurs eaux puisées à une grande profondeur n'ont point traversé les couches superficielles imprégnées de déjections et sont habituellement d'une pureté remarquable. Nous n'avons rien à ajouter à l'article SONDAGE. Nous dirons seulement que les procédés de forage permettent aujourd'hui d'ouvrir le trou sur un beaucoup plus grand diamètre qu'on ne le faisait autrefois, et qu'il est possible dès lors d'employer les procédés de sondage à l'ouverture de puits très-profonds, mais non jaillissants, d'où on extrait l'eau à l'aide des machines élévatoires ordinaires.

On construit ordinairement au-dessus ou à côté des puits jaillissants un édifice destiné à supporter le tuyau d'ascension et un bassin de jaugeage et de distribution. Au pied de ces édifices, sont ménagés des moyens d'écoulement, lorsqu'il devient utile de supprimer momentanément la charge de la colonne ascensionnelle, soit pour nettoyer la tube du forage, soit pour réparer quelques parties du système de distribution.

Le monument si gracieux qui vient d'être établi pour le puits artésien de Grenelle, sur la place Breteuil, à Paris, peut être cité comme exemple de ce genre de construction. Le tuyau d'ascension et les tuyaux de distribution forment le noyau d'un escalier tournant qui monte jusqu'au sommet de l'édifice. De légères colonnettes à nervures forment extérieurement la cage de cet escalier et en dessinent le profil. Trois balcons en forme de vasque partagent en parties égales la hauteur totale de cette fontaine monumentale, terminée par un élégant campanile. L'édifice est entièrement en fonte, à l'exception du soubassement qui est en pierre. Sa hauteur totale est de 42m,8. Le poids de la fonte employée est de 170,000 kilog. à 60 c. le kilog. La dépense totale de la construction est de 156,000 fr.

L'eau de pluie recueillie directement dans de vastes citernes est le dernier moyen que nous ayons à mentionner pour assurer l'approvisionnement d'eau des villes. C'est assurément une triste ressource, et l'on peut dire que les villes qui n'en ont point d'autres sont bien dépourvues d'eau. Les citernes, comme les puits, sont des ouvrages privés dont nous avons peu de choses à dire. Cependant, elles ont dans certaines villes, à Venise par exemple, une si grande importance et leur usage est si souvent nécessaire pour avoir de bonne eau potable, qu'il est nécessaire d'indiquer quelques précautions indispensables à leur bon établissement. L'eau de pluie, en coulant sur les toits, entraîne avec elle la poussière qui s'y dépose, les débris d'insectes qui s'y accumulent, etc. Il est donc toujours nécessaire de la filtrer avant de l'introduire dans la citerne. A cet effet, il convient de disposer en avant de cette citerne un véritable filtre formé de couches de sable, de braise, ou mieux de charbon animal et de gravier, que l'eau est obligée de traverser avant de se rendre dans le réservoir.

L'eau de citerne recueillie avec cette précaution est si bonne, et surtout si agréable pour les usages de la toilette, que l'on ne saurait assez recommander de construire une citerne à côté de chaque maison, quand l'on dont on dispose d'ailleurs n'est pas d'excellente qualité. La quantité d'eau de pluie que l'on peut re-

cueillir par an dans nos climats est égale, à peu près, en prenant les années les plus sèches, à 450 à 500 litres par mètre carré des toits dont on dispose. Quant à la consommation de cette eau dans les ménages, elle dépend évidemment de la nature des usages auxquels on la réserve. Si elle doit suffire à tous les services, il faut donner à la citerne 7 à 8 mètres cubes par habitant de la maison, et 20 à 22 mètres cubes par cheval, bœuf ou vache de la ferme. Si l'eau est réservée exclusivement à la boisson et à la toilette, on peut à la rigueur réduire la capacité à 1m,5 ou 2 mètres cubes par habitant.

Filtrage. On vient d'indiquer les diverses natures d'eaux employées dans les distributions. Ainsi qu'on l'a déjà dit, la limpidité de l'eau est une de ses qualités les plus précieuses. Dans tout système de distribution bien établi, l'eau doit donc être livrée limpide au consommateur, et par conséquent il faut la filtrer, quand elle est trouble, comme le sont le plus souvent les eaux de rivière et quelquefois même certaines sources sujettes à de grandes crues.

Les explications données au mot FILTRATION nous permettront de passer très-rapidement ici sur cette opération difficile. Sans revenir sur les filtres de petite dimension destinés principalement aux usages domestiques, il suffira d'indiquer les principaux moyens d'éclaircir les grandes masses d'eau nécessaires à la consommation des villes.

Les grands appareils de filtrage qui nous occupent consistent toujours à faire passer l'eau à travers des couches de graviers et de sable dont les vides, assez grands pour laisser passer le liquide, sont insuffisants pour le passage des corps solides tenus en suspension dans l'eau.

La disposition de la couche de sable varie avec les localités. Tantôt on est assez heureux pour que la couche poreuse forme le lit de la rivière, et alors il suffit d'ouvrir une galerie de puisage dans cette couche filtrante naturelle. Tantôt, au contraire, on est obligé d'amener de loin le sable et le gravier nécessaires à la constitution du filtre, de disposer ces matériaux dans des bassins imperméables et d'assurer la filtration par des artifices plus ou moins compliqués. On donne le nom de filtres artificiels à ces derniers appareils, tandis que ceux dont nous avons parlé d'abord sont appelés filtres naturels.

L'un des exemples les plus remarquables de filtres naturels est celui qui sert à l'épuration des eaux de la Garonne à Toulouse. Les galeries de filtration sont ouvertes dans le banc d'alluvion qui règne le long du cours Dillon. Ce banc est principalement composé de gravier et de sable, entremêlés de cailloux et en quelques endroits d'un limon vaseux. La galerie du troisième filtre, dont la figure 3495 montre la coupe en travers, est ouverte parallèlement au cours de la rivière à une distance de 30 à 50 mètres de la rive. Elle a 250 mètres de longueur, son fond est à 4m,44 au-dessous des basses eaux de la rivière. Sur ce fond on a établi une petite galerie qui est formée de deux murs en briques simplement superposées et recouvertes de dalles de pierre. Cette galerie a 0m,60 de largeur et 1m,50 de hauteur. L'espace compris entre la galerie et les parois de l'excavation est rempli de gros cailloux bien lavés; au-dessus, on a répandu une couche de gravier de 0m,66 d'épaisseur, puis on a comblé avec de la terre sablonneuse extraite de la fouille et on a semé du gazon à la surface. Ce filtre fournit 2,890 mètres cubes par jour, soit environ 20 mètres cubes par mètre carré de sa surface totale. La température de l'eau qu'il fournit est très-peu variable et sa limpidité est parfaite. Il fonctionne maintenant depuis une vingtaine d'années sans aucune réparation; c'est une véritable fontaine artificielle, la plus économique que l'on puisse obtenir.

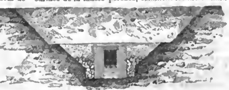


Fig. 3495. — Coupe en travers de la galerie du 3e filtre de Toulouse. (Échelle de 0,0066 pour un mètre.)

La compagnie des eaux de Lyon a fait établir un filtre analogue à celui de Toulouse (fig. 3496).

La galerie est en béton de ciment de Pouilly; son radiar d est en gravier et sable naturel; il est établi à 3 mètres au-dessous de l'étiage du Rhône. La largeur de la galerie dans œuvre est de 5 mètres; sa longueur est de 150 mètres. Elle a coûté 1,200 fr. le mètre courant. La ligne a indique le niveau du Rhône lors de l'exécution; la ligne b, celui de l'étiage; la ligne c enfin, la dénivellation possible entre le niveau de l'eau dans le filtre et dans le fleuve.



Fig. 3496. — Coupe au travers de la galerie filtrante de Lyon. (Échelle de 0,0033 pour un mètre.)

Au moment de son achèvement, ce filtre a donné par mètre carré jusqu'à 300 mètres cubes en vingt-quatre heures avec une dénivellation c de 0m,50. Ce débit énorme ne s'est pas soutenu, mais le régime paraît maintenant régulier, et la température de l'eau est maintenue constante, comme celle d'une source, entre 12 et 13 degrés.

Des filtres analogues existent à Tours (Indre-et-Loire), à Nottingham (Angleterre), à Perth (Écosse), etc. Ils donnent des résultats parfaitement satisfaisants.

M. Dupuit a parfaitement expliqué, par les vitesses relatives des molécules d'eau dans l'intérieur et à la surface de la masse poreuse, comment les filtres naturels dont on vient de parler fonctionnent régulièrement sans se recouvrir ou s'engorger de limon. La condition

indispensable au succès est une vitesse suffisante de la rivière à la surface de son lit du sable ou de gravier. Aussi, a-t-on complétement échoué dans la construction de filtres naturels sur les bords de la Clyde, où la marée rend les eaux stagnantes pendant plusieurs heures de la journée.

Les filtres *artificiels* ont été disposés de bien des manières. Le plus habituellement ils se composent de grands bassins imperméables au fond desquels on dispose des tuyaux de drainage ou de petites galeries en pierres sèches. Une couche de gravier recouvre ces ouvrages et supporte une couche de sable fin. L'eau arrive sur cette masse filtrante, dépose son limon à la surface et dans les premières couches de sable, et arrive limpide dans les tuyaux collecteurs placés au fond du bassin. On enlève de temps en temps la couche supérieure du filtre et on la remplace par du sable neuf. On comprend qu'il faut presque toujours réunir deux bassins filtrants de cette espèce pour que le service ne soit pas interrompu pendant les nettoyages.

Les filtres que nous venons de décrire sont très-employés en Angleterre; voici, comme exemples, la composition de la couche filtrante dans quelques-unes de ces appareils :

Filtre de Chelsea.

Sable fin de mer sur une épaisseur de.		$0^m,60$
Sable gravier,	id.	0 ,30
Coquilles de mer,	id.	0 ,15
Gros gravier dans lequel sont engagés les collecteurs, sur une épaisseur de.		1 ,00
		2 ,05

Filtre de Southwark.

Sable fin de mer, sur	$0^m,60$
Sable et gravier.	0 ,30
Gravier fin	0 ,22
Gravier gros.	0 ,22
Cailloux.	0 ,30
	1 ,64

Chacun des deux filtres de la compagnie de Chelsea a 75 mètres de longueur sur 55 de largeur. L'un des filtres de la compagnie de Southwark a 2,900 mètres carrés, et l'autre 7,840 mètres carrés. La quantité d'eau filtrée, sous une charge de $1^m,20$ à $1^m,30$, est de 4 mètres cubes environ par mètre carré de filtre.

L'établissement de Thames Ditton a quatre filtres, composés d'une masse filtrante analogue aux précédentes et reposant sur de fortes ardoises placées de champ au-dessus de petits murs parallèles formant canaux collecteurs. Sous une charge d'eau de $2^m,5$, on obtient de 7 à 8 mètres cubes d'eau par 24 heures et par mètre carré de filtre.

La ville de Hull, dont la population est de 100,000 âmes, est approvisionnée d'eau filtrée de cette manière, à raison de 172 litres par tête et par vingt-quatre heures. La superficie des filtres est de $4^h,47$ environ.

Les filtres de Marseille sont couverts. Ils donnent 13 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures et par mètre carré de filtre. Leur épaisseur, de $0^m,80$, se compose de :

Sable très-fin de Montredon	$0^m,30$
Sable moyen du Gnudes	0 ,08
Gros sable de Riom	0 ,18
Petit gravier du Prado.	0 ,12
Pierres concassées passant par un anneau de $0^m,06$	0 ,12
	0 ,80

Ces filtres se nettoient par le passage d'un courant d'eau de bas en haut. On doit reconnaître que leur fonctionnement n'est pas irréprochable.

Les filtres artificiels sont généralement précédés de bassins de repos où l'eau laisse déposer, surtout en temps de crues, la partie la plus grossière du trouble qu'elle renferme. L'eau arrive aux filtres déjà un peu éclaircie et seulement louche. Elle salit beaucoup moins l'appareil et rend les nettoyages moins fréquents.

Le temps nécessaire pour éclaircir l'eau par le repos est très-variable d'une rivière à l'autre, mais toujours assez long. On peut hâter de diverses manières la précipitation des matières contenues dans l'eau, notamment par l'addition d'un peu d'alun au liquide. Nous n'avons pas besoin d'ajouter que ces procédés chimiques de clarification doivent être proscrits absolument des distributions importantes. Ils modifient toujours les propriétés de l'eau et une erreur de dosage peut entraîner des dangers sérieux.

§ IV. CONDUITE ET ÉLÉVATION DES EAUX.

Quand on a fait choix des eaux qui doivent être distribuées dans une ville, il faut, suivant le cas, les élever, à l'aide de machines, dans des réservoirs d'un niveau supérieur à celui de tous les points qu'elles doivent atteindre, ou bien les amener dans ces réservoirs à l'aide de conduites ou d'aqueducs convenables, si le niveau naturel de ces eaux est assez élevé.

Occupons-nous d'abord de ce dernier genre de construction.

Aqueducs. — Les travaux qui servent à amener les eaux de la source qui les produit, ou du point de dérivation, sont extrêmement variés et souvent fort importants.

S'il s'agit d'un volume d'eau considérable et que le terrain s'y prête, on se sert de canaux ouverts à la surface du sol. C'est ainsi que le canal de l'Ourcq sert à la fois à la navigation et à la conduite des eaux de distribution.

Pour les volumes d'eau moins considérables, qui se perdraient par les fuites, l'évaporation, etc., on a recours à des rigoles en maçonnerie qui constituent les aqueducs proprement dits. Ces rigoles sont quelquefois exécutées à ciel ouvert. Mais il vaut mieux les couvrir et les placer à une petite profondeur au-dessous du sol, pour mettre l'eau à l'abri de l'évaporation et la conserver fraîche et pure pendant tout son parcours.

La section des aqueducs varie nécessairement avec leur importance et avec les sujétions que s'impose l'ingénieur. On donnait assez souvent autrefois aux aqueducs des dimensions beaucoup plus considérables que celles qui sont généralement adoptées aujourd'hui. On réservait à côté de la cunette, qui renfermait l'eau, une banquette pour le passage des ouvriers, et on ménageait au-dessus une voûte d'une hauteur suffisante pour une circulation facile. L'aqueduc d'Arcueil (fig. 3497) offre un exemple de ces dispositions; de pareils travaux exigent des dépenses considérables, qui ne sont nullement compensées par les avantages qui peuvent résulter de cet emploi inutile de matériaux.

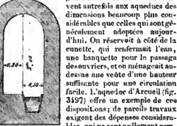
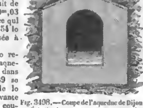


Fig. 3497. — Coupe de l'aqueduc d'Arcueil. (Échelle de 0,013 pour un mètre.)

La section adoptée par M. Darcy pour l'aqueduc de Dijon (fig. 3498) est beaucoup plus rationnelle et peut être présentée comme un excellent type pour les aqueducs de portée moyenne, surtout quand le débit est un peu variable. La cunette a $0^m,60$ de largeur, la hauteur sans clef est de $0^m,90$. Ces dimensions permettent à un homme de parcourir l'aque-

due sans trop de fatigue. L'épaisseur du radier est de 0m,30 et celle de la clef est de 0m,25. Les pieds droits ont 0m,62 de hauteur et 0m,40 d'épaisseur. L'enduit de la cuvette a 0m,03 d'épaisseur, ce qui réduit à 0m,54 la largeur laissée à l'eau.


Fig. 3498. — Coupe de l'aqueduc de Dijon. (Échelle de 0m,020 pour 1 mètre.)

Le prix de revient de cet aqueduc exécuté dans l'été de 1839 se décompose de la manière suivante par mètre courant :

Terrassements.	3, 80
Maçonneries.	13, 19
Chape.	1, 15
Enduit.	1, 57
Béton	0, 24
Regards	0, 15
Bornes.	0, 08
Cintrements	0, 24
Ouvrages accessoires.	0, 45
	20, 87

Les regards établis de distance en distance pour pénétrer dans les aqueducs analogues aux précédents, n'ont rien de particulier. Ce sont des cheminées en maçonnerie, s'élevant jusqu'au sol et fermées par une trappe.

Pour les débits moins considérables, quand il faut nécessairement réduire la dépense autant que possible, et que d'ailleurs la conduite peut être placée à une assez faible profondeur au-dessous du sol, on ne saurait mieux faire que d'employer de petits aqueducs en maçonnerie de ciment. L'un des premiers et des plus remarquables exemples d'aqueduc de cette espèce est celui qui a été exécuté par M. Belgrand pour amener les eaux à Avallon. Cette conduite, entièrement construite en béton de ciment de Vassy (fig. 3499), se compose d'une cunette de 0m,30 de largeur et de 0m,15 de hauteur, et d'une petite voûte en anse de panier de 0m,30 de largeur et de 0m,11 de flèche. L'épaisseur de la maçonnerie est de 0m,10. La surface de débouché est de 0m,7148. La pente est de 1/3 de millimètre par mètre.

Fig. 3499. Coupe de la conduite d'Avallon. (Échelle de 0m,020 pour 1 mètre.)

Le débit par 24 heures est de 193 mètres cubes pour une hauteur d'eau de 0m,05 dans la cunette; de 540 mètres cubes pour une hauteur de 0m,10 et de 880 mètres cubes pour une hauteur de 0m,15. Enfin étant probablement à peu près pleine, cette conduite a débité jusqu'à 1858 mètres cubes en 24 heures.

La conduite est à peu près à 1m,50 au-dessous du sol, et à 5 mètres dans deux points particuliers. La dépense de sa construction se décompose ainsi :

Terrassements.	6,419,96
Maçonnerie au ciment de Vassy.	25,316,70
21 regards à 70 fr. 83.	1,487,30
Total, pour 3,630 mètres. .	33,223,96
on par mètre	9 fr. 15 c.

Les ciments hydrauliques dont l'emploi se répand tous les jours et dont les prix descendent rapidement, permettent d'exécuter sur place ou par moulage d'excellents conduits très-économiques pour les petites distributions. Ainsi, par exemple, l'usine de Boulogne livre les tuyaux en ciment aux prix suivants :

Diamètre 0m,10	à	1 fr.	le mètre courant. .
— 0m,20	—	2	—
— 0m,30	—	3	—
— 0m,50	—	8	—

A ces prix il faut ajouter le transport, la fouille et la pose. En exécutant sur place au fond de la tranchée, on peut arriver à des prix encore plus réduits. J'ai fait exécuter une conduite de 0m,16 de diamètre et de 800 mètres de longueur en béton aggloméré de M. Coignet, pour un peu moins de 1 fr. le mètre.

Un petit aqueduc en béton, moulé au fond d'une tranchée et recouvert de pierres plates à joints maçonnés, peut aussi donner des résultats très-économiques.

Les tuyaux en poteries à emboîtement si employés par les anciens peuvent encore rendre des services pour les très-petites conduites à pression presque nulle. Mais, en général, il y aurait avantage aujourd'hui à employer des tuyaux de drainage sans emboîtements, garnis de colliers jointoyés et enveloppés de ciment hydraulique.

On détermine la section et la pente, en chaque point des aqueducs, de manière à assurer l'écoulement du volume d'eau nécessaire. Les vitesses doivent être comprises entre 0m,15 et 1 mètre par seconde. Les formules employées à cette détermination sont données à l'article HYDRAULIQUE et au mot AGRICULTURE, à propos des canaux de dessèchement.

Depuis quelques années, les tuyaux de fonte disposés sous le sol, comme ceux employés dans la distribution à l'intérieur des villes, dont on parlera plus bas avec détail, ont été assez souvent employés comme conduite générale, ou plutôt comme siphons renversés pour traverser les vallées profondes. Cependant, en général, les aqueducs en maçonnerie sont plus économiques, et on les emploie encore dans le plus grand nombre des cas.

Il convient, autant que possible, de déterminer le tracé d'un aqueduc de manière qu'il soit constamment à une faible profondeur au-dessous du niveau du sol, comprise entre 1 mètre et 2m,5. Cette condition, du reste, suivie rigoureusement, conduirait souvent à des allongements inutiles du parcours, et même à des impossibilités absolues. On est donc forcé tantôt d'entrer en souterrain pour passer au-dessous des collines ou des montagnes, et, dans d'autres circonstances, de franchir les cours d'eau naturels à l'aide de ponts, ou les vallées à l'aide d'aqueducs monumentaux, d'une plus ou moins grande importance. Les Romains nous ont laissé à cet égard des modèles nombreux, admirables par leur grandeur et surtout par leurs belles proportions. L'aqueduc du Gard est connu de tout le monde; mais l'Algérie, aux environs de Cherchell, offre des monuments de cette espèce plus remarquables encore.

La France, du reste, n'a plus rien à envier aux plus grands et aux plus beaux ouvrages de cette espèce, depuis la construction de l'aqueduc monumental de Roquefavour (fig. 3500), sur lequel les eaux de la Durance franchissent la vallée de la rivière d'Arcq avant d'arriver à Marseille. Les immenses proportions de ce monument ne peuvent être comparées qu'aux plus grands de nos édifices. Pour les faire bien comprendre, il suffira de dire que le sommet du Panthéon, à Paris, est de deux mètres moins élevé que cet aqueduc dans son point le plus haut, et que les tours de Notre-Dame de Paris, qui ont 15 mètres de moins, atteindraient à peine le sommet de la seconde rangée de voûtes.

Les anciens, qui ne possédaient pas de tuyaux de fonte et qui n'avaient même que de détestable tuyaux de plomb d'un prix énorme, n'avaient aucun autre moyen de faire passer les eaux d'un aqueduc d'un côté

à l'autre d'une vallée, que l'emploi de ces édifices que nous admirons et que nous imitons encore quelquefois.

Les distributions d'eau de quelque importance sont des pompes à pistons ou à plongeurs, aspirantes et foulantes, ou

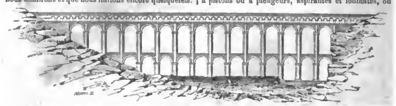


Fig. 3500. — Aqueduc de Roquefavour, près de Marseille de 81 mètres d'élévation. (Échelle de 0m,0003 pour 1 mètre.)

Mais les progrès de l'art des constructions, l'emploi de la fonte devenu si facile et si peu coûteux relativement, permettent de conduire les eaux d'un côté à l'autre d'une vallée d'une manière beaucoup plus économique en général qu'on ne pourrait le faire en construisant des aqueducs monumentaux. On emploie maintenant presque toujours, pour franchir les vallées, des siphons renversés, formés de tuyaux de fonte. Ces siphons fonctionnent parfaitement, mais ils nécessitent ordinairement une perte de charge assez considérable. Les tuyaux suivent sans difficulté la forme du terrain; un pont étroit et léger suffit pour les soutenir au-dessus des cours d'eau à franchir; en un mot, ils se prêtent avec une admirable facilité à résoudre les difficultés les plus sérieuses, et à franchir des obstacles infranchissables par les anciens procédés. Les assemblages des tuyaux en fonte des siphons et les calculs de leur résistance sont les mêmes que pour les tuyaux employés dans les villes à la distribution proprement dite. Nous n'avons pas à en parler pour le moment.

Machines élévatoires. On a supposé dans tout ce qui précède que la source ou la dérivation de l'eau employée était assez élevée pour que le liquide puisse arriver, par l'action seule de la pesanteur, aux réservoirs de distribution placés sur des points culminants de la ville à desservir. Les anciens n'avaient point d'autre système de distribution; aussi trouve-t-on les restes de leurs grands aqueducs auprès de toutes les villes qu'ils ont habitées. Mais on aurait tort de supposer que leur préférence pour les eaux de sources motivait seule ces immenses travaux. Ils ne possédaient pas la machine à vapeur, les moteurs hydrauliques leur étaient à peine connus, et les conduites forcées elles-mêmes, élément essentiel de nos travaux modernes, leur faisaient défaut d'une manière absolue. Il fallait bien, avec cette pénurie de moyens, recourir aux dérivations à grande distance, aux aqueducs et aux bassins de distribution, d'où l'eau se répandait dans la ville par de petits aqueducs à chute ou des tuyaux de poteries à très-faible charge. Si les Romains avaient eu la machine à vapeur, ils auraient plus souvent emprunté l'eau aux fleuves de leurs cités et nous ne verrions pas autant de ces aqueducs magnifiques qui témoignent, il est vrai, de la grandeur romaine, mais aussi de l'impuissance des moyens mécaniques à cette époque. Si les ingénieurs d'alors revenaient au milieu de nous, ils s'étonneraient sans doute de nous voir renoncer aux moyens si puissants et si économiques de la science moderne pour imiter leurs coûteux aqueducs en maçonnerie.

L'art de la conduite des eaux, qui se réduisait autrefois au tracé et à l'exécution des aqueducs, s'est donc singulièrement agrandi par l'emploi des moyens mécaniques d'élévation des eaux, dont on va maintenant dire quelques mots.

Les machines élévatoires employées pour les distributions d'eau de quelque importance sont des pompes à pistons ou à plongeurs, aspirantes et foulantes, ou simplement foulantes quand la disposition des lieux le permet.

Ces pompes sont mises en mouvement par des machines à vapeur ou par des roues hydrauliques, les moulins à vent et les manéges n'étant employés que très-exceptionnellement et pour des appareils sans importance.

Les soupapes des pompes de distribution sont les organes les plus importants de ces appareils. On adopte presque toujours aujourd'hui les soupapes dites de Cornouailles, plus ou moins perfectionnées, ou bien des soupapes à clapets d'une bonne exécution. La condition essentielle à remplir est de donner aux ouvertures des soupapes et aux chapelles qui les renferment une section suffisante pour que l'eau n'y soit animée que d'une assez faible vitesse, 0m,40 à 0m,8 au plus par seconde. Quand ces organes sont bien construits, ils fonctionnent sans dérangement pendant extrêmement longtemps. On a calculé que les clapets des pompes de Toulouse se sont ouverts et fermés soixante-trois millions de fois sans nécessiter aucune réparation.

Dans les anciennes machines hydrauliques, quel que fût leur moteur, l'eau était élevée dans une tour voisine et reçue dans une cuvette de distribution, d'où partaient les tuyaux de conduites dans lesquels l'eau s'écoulait par l'action seule de la pesanteur. Les pompes actuelles sont mises directement en rapport avec les tuyaux, quelle que soit leur longueur. Des réservoirs d'air comprimé amortissent les chocs de la colonne liquide en mouvement, et détruisent les inconvénients que présentait, pour le mouvement régulier des pistons, l'inertie de l'énorme masse d'eau contenue dans une forte conduite d'une certaine longueur. Les châteaux d'eau remédiaient à cet inconvénient en substituant une colonne assez courte et seulement égale à la hauteur verticale d'élévation de l'eau, à une colonne comprenant la distribution tout entière. Mais ils avaient l'inconvénient d'augmenter le travail du moteur en l'obligeant à élever tout le volume d'eau à la hauteur maximum, sans jamais profiter des économies résultant de prises faites sur la longueur de la conduite.

Quand on dispose d'une chute d'eau, l'emploi d'un moteur hydraulique convient parfaitement pour la mise en jeu des appareils élévatoires. L'économie considérable que présentent les moteurs hydrauliques leur assure la préférence toutes les fois que les localités se prêtent à leur installation. Il n'y a plus de discussion possible à cet égard, et nous voyons remplacer aujourd'hui par des roues hydrauliques la machine à vapeur qu'un enthousiasme irréfléchi avait fait substituer il y a vingt-cinq ans à l'ancienne machine de Marly. Selon la hauteur de chute et le volume d'eau disponible, on emploie les roues à la Poncelet, les roues de côte, les roues à auget en dessus, ou enfin les turbines. La description et la théorie de ces divers appa-

reils et des pompes se trouvent dans le *Dictionnaire*, et il serait inutile d'y revenir ici. On se bornera à indiquer (fig. 3501) l'une des dispositions les plus simples pour la mise en mouvement des pompes élévatoires. Les tuyaux de refoulement des deux pompes se réunissent dans un vaste réservoir d'air, placé en avant du plan de la coupe et que la figure ne représente pas, et sur lequel se branche la conduite d'ascension. L'emploi d'un balancier pour les machines un peu puissantes remplace avantageusement les arbres coudés si sujets à se briser, et surtout les systèmes d'engrenages plus ou moins compliqués que l'on employait souvent autrefois. Si la vitesse de la roue hydraulique ne pouvait pas être réglée convenablement pour le jeu des pompes, on prendrait le mouvement de la bielle sur un second arbre conduit par un engrenage de dimension appropriée à la vitesse à obtenir. Dans ce cas, on monte ordinairement deux boutons de manivelle à angle droit aux deux extrémités de cet arbre auxiliaire et on lui fait commander deux balanciers et quatre pompes pour obtenir une plus grande régularité de mouvement. Ces détails d'installation rentrent, du reste, dans des études de machines pures qu'il serait trop long de discuter ici d'une manière complète.

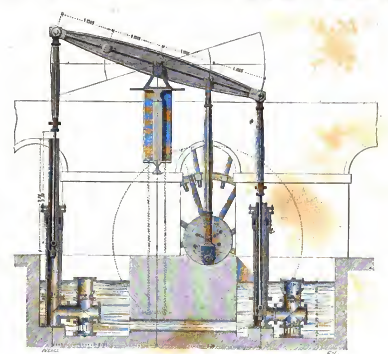


Fig. 3501. — Pompes élévatoires à plongeurs mises en mouvement par une roue hydraulique.

A défaut de moteurs hydrauliques, on emploie des machines à vapeur pour élever l'eau des villes.

Le développement donné à l'article MACHINES A VAPEUR nous dispense d'entrer dans aucun détail sur la construction de ces appareils considérés comme moteurs spéciaux de machines à élever l'eau. Nous dirons seulement que ces machines fonctionnent aujourd'hui avec une grande régularité, une grande économie de combustible, et que dans beaucoup de cas, malgré les frais annuels de leur entretien, elles fournissent l'eau à un prix beaucoup moins élevé que les aqueducs, quand on tient compte du capital énorme que nécessite leur construction. Quelques chiffres à cet égard ne seront pas sans intérêt.

On emploie pour élever l'eau des villes des machines de Cornouailles à simple effet, réglées par des cataractes, ou bien des machines à double effet et à volant, avec détente et condensation. Le premier système est à peu près exclusivement employé en Angleterre; le second paraît assez généralement préféré en France, par suite de quelques difficultés éprouvées dans la mise en marche des premières machines de Cornouailles montées dans quelques-unes de nos grandes villes. Ces deux classes de machines donnent, du reste, à peu près les mêmes résultats économiques quand elles sont également bien construites et bien conduites.

Les ingénieurs anglais les plus compétents, et notamment M. Hocking, grand entrepreneur de machines du système Cornouailles pour l'approvisionnement des villes, admet comme résultat pratique qu'une machine de 250 chevaux élève à 100 pieds de hauteur 1,600,000 gallons d'eau par tonne de houille de qualité moyenne, valant, à Londres, 12 schellings, brûlée sur la grille de ses chaudières. Cette estimation revient à 1f,21 de

houille par heure et par force de cheval, mesuré en eau élevée. Cette consommation, d'après le même auteur, s'élèverait à $1^k,5$ pour une machine de 100 chevaux, et à près de 2 kilog. pour une machine de 25 chevaux.

En France, M. Farcot a construit plusieurs machines qui réalisent et au delà ces conditions. La machine établie aux ponts de Cé, pour l'alimentation de la ville d'Angers, par exemple, est verticale, à rotation, commandant directement par la tige même du piston à vapeur une seule pompe aspirante et foulante placée au-dessous du cylindre. Sa puissance nominale est de 45 chevaux pour une pression de 5 atmosphères dans les chaudières et la vitesse de 16 tours par minute. La consommation de houille *garantie* par le marché était de $2^k,2$ par heure et par *cheval utile mesuré en eau élevée*. Chaque hectogramme dépensé en moins devant donner lieu à une prime, des expériences prolongées pendant des mois entiers ont démontré que la consommation en houille anglaise ordinaire de Sunderland, telle que le commerce le fournit à Angers, était de $1^k,228$ à $1^k,365$, et en moyenne de un peu moins de $1^k,3$ par heure et par cheval mesuré, on le répète, en eau élevée. L'effet utile de l'appareil élévatoire dans cette machine est évalué de 0,83 à 0,86.

De semblables résultats sont bien dignes d'appeler l'attention et de faire comparer sérieusement les distributions par machines aux distributions par aqueducs de dérivation toutes les fois que les deux systèmes peuvent être mis en présence. Aussi, M. Lechâtelier, habile ingénieur des mines, a-t-il proposé d'alimenter Paris à l'aide de l'eau de Seine puisée au pont d'Ivry, filtrée et rafraîchie dans de vastes réservoirs souterrains, puis élevée à l'aide de 10 machines de 100 chevaux chacune. Il estime que les machines brûleraient par heure et par force de cheval $1^k,5$ de houille à 28 fr. la tonne. Les chiffres qui précèdent montrent que les données de M. Lechâtelier sont loin d'être exagérées et que l'on peut dès lors admettre avec confiance le chiffre de 1,200,000 fr. auquel il arrive pour la dépense annuelle de ce vaste appareil. La dépense d'installation serait de 8 millions environ.

Ce système éviterait toute incertitude sur la quantité et la qualité des eaux destinées à l'approvisionnement de Paris : il n'exposerait pas la capitale à manquer d'eau par la rupture de l'aqueduc en cas de guerre; enfin il donnerait l'eau à 5 ou 6 centimes, et à moins encore s'il ne fallait pas la filtrer; tandis que la dérivation des eaux de la Champagne avec les énormes dépenses que nécessite son établissement ferait revenir le mètre cube d'eau à 9 centimes au moins.

S'il paraît réellement utile d'exclure l'eau de Seine comme boisson des Parisiens, que l'on réduise au moins les travaux de dérivation des sources éloignées aux exigences du service des maisons particulières, ce qui n'entraînerait qu'une dépense relativement modérée. Les machines à vapeur ou les moteurs hydrauliques fourniront l'eau nécessaire à l'ornement et au nettoyage de la ville à un prix moitié moins élevé que ne pourrait le faire un aqueduc de dérivation.

§ V. DISTRIBUTION DANS L'INTÉRIEUR DES VILLES.

Les explications données dans les paragraphes précédents ont montré comment il convient de choisir les eaux destinées aux divers usages de l'économie domestique ou industrielle, d'apprécier le volume nécessaire à une population donnée, d'obtenir ce volume d'eau et enfin comment on peut le conduire par un aqueduc ou l'élever par des machines aux points culminants de la ville. Il reste à indiquer comment on distribue et on conduit les eaux dans l'intérieur de la ville sur tous les points où leur présence est nécessaire.

Un système de distribution d'eau constitue un appareil compliqué dont les principaux éléments et les organes essentiels doivent être indiqués successivement.

Réservoirs. — Les eaux élevées par des machines ou amenées par des aqueducs sont habituellement versées dans des réservoirs situés au point le plus élevé du périmètre à desservir par la distribution, afin que le liquide se rende, par l'action seule de la pesanteur, dans toutes les directions qu'il doit atteindre.

Les réservoirs servent à compenser les irrégularités de l'approvisionnement et de la consommation ; ils accumulent pendant la nuit ou pendant les interruptions du service les eaux amenées par les aqueducs ou élevées par les machines. Ils fournissent au besoin en cas d'incendie un volume d'eau qui peut être supérieur à celui que fournissent régulièrement les machines ou la source de dérivation, etc. Leur capacité doit donc être déterminée dans chaque cas particulier d'après les éventualités auxquelles ils ont à répondre et l'on ne saurait donner de règle fixe à cet égard.

Les réservoirs sont construits en tôle ou en maçonnerie. Les premiers sont habituellement réservés pour les volumes peu considérables, à moins que des difficultés particulières de fondation ne les rendent plus économiques que ceux en maçonnerie qui sont généralement employés dans les travaux un peu importants.

Les réservoirs en tôle sont ordinairement cylindriques. On peut les exécuter en tôle assez mince quand leurs dimensions ne sont pas très-considérables. Un réservoir de 8 ou 10 mètres de circonférence et de 3 ou 4 mètres de hauteur peut se composer, par exemple, de tôle de 2 millimètres dans le premier tiers de sa hauteur, de 2 millimètres et demi au milieu, et de 3 millimètres dans sa partie inférieure. Le fond est ordinairement plat. S'il reposait sur une surface plane et résistante, il pourrait être fort mince comme on le fait quelquefois par économie. Mais il vaut mieux lui donner une certaine épaisseur et le poser sur des poutrelles ou sur des murs de refend présentant un écartement suffisant pour que l'on puisse visiter le dessous du réservoir, vérifier et réparer les fuites, s'il s'en produit, et entretenir la peinture pour empêcher la rouille d'attaquer le métal. Si le réservoir n'est pas placé dans une construction en maçonnerie, il faut le recouvrir d'un toit et l'entourer d'une enveloppe en matières peu conductrices, afin de conserver à l'eau une température plus uniforme.

Les grands réservoirs sont ordinairement construits en maçonnerie comme on l'a déjà dit. Il convient de les recouvrir d'une voûte ou au moins d'une toiture. Les réservoirs établis à ciel ouvert gèlent en hiver, reçoivent les poussières et les impuretés que le vent entraîne toujours, et se remplissent en été de plantes et d'animaux aquatiques qui altèrent la qualité de l'eau. La forme des réservoirs dépend essentiellement de l'emplacement dont on dispose, mais les parties essentielles de leur construction sont toujours à peu près les mêmes. Les figures 3502, 3503 et 3504 indiquent la disposition du réservoir d'Amiens, construit d'après les projets de M. Mary. Le fond et les parois des réservoirs sont ordinairement en béton, recouvert d'un enduit de ciment hydraulique. Le fond a $0^m,30$ à $0^m,70$, selon la résistance du sol et la hauteur de l'eau qui varie habituellement de 2 à 5 mètres. L'épaisseur des murs d'enceinte se calcule suivant les règles habituelles de l'art de bâtir; elle est à peu près égale en moyenne aux 2/3 de la hauteur d'eau à supporter, si les murs sont isolés et d'une certaine longueur. Quant au mode de recouvrement, le meilleur est assurément l'emploi de petites voûtes cylindriques légères, supportées par des rangées d'arcades reposant elles-mêmes sur de petits piliers isolés comme l'indiquent les fig. 3503 et 3504.

L'un des réservoirs les plus remarquables que l'on

puisse citer est celui qui vient d'être construit sur les hauteurs de Passy. Il occupe 6,000 mètres environ de

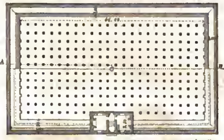


Fig. 3502. — Plan du réservoir de distribution d'Amiens. (Échelle de $0^m,0013$ pour 1 mètre.)

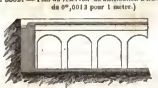


Fig. 3503. — Coupe en long, suivant B O du plan fig. 3502, d'une partie du réservoir d'Amiens. (Échelle de $0^m,005$ pour 1 mètre.)



Fig. 3504. — Coupe en travers d'une partie du réservoir d'Amiens. (Échelle de $0^m,005$ pour 1 mètre.)

superficie partagée en trois bassins contenant ensemble 25,200 mètres cubes d'eau, savoir :

Bassin de Réserve n° 5.	3,900^{mc}
Bassin de Villejust inférieur n° 3.	10,000
Bassin du Bel-Air, id. n° 1. . .	11,300
	25,200

Des piliers élevés sur le radier des deux compartiments principaux, n° 1 et n° 3, portent, au moyen d'arcs de $3^m,20$ d'ouverture, une voûte en meulière et ciment de $0^m,33$ d'épaisseur qui forme le fond d'un second étage de bassins cubant 11,900 mètres cubes, savoir :

Bassin du Bel-Air, supérieur n° 2.	5,700^{mc}
Bassin de Villejust, id. n° 4. . . .	6,200
	11,900

La capacité totale du Réservoir est de 37,100 mètres cubes, le plan d'eau des bassins inférieurs est à la cote 72 mètres au-dessus du niveau de la mer, et celui des bassins supérieurs à $75^m,33$.

Les tuyaux de conduites débouchent ordinairement au fond des réservoirs, ainsi que les tuyaux de vidanges. S'il s'agit de petits tuyaux, de simples robinets placés à l'extérieur suffisent à toutes les manœuvres. Mais aussitôt que les conduites ont un diamètre un peu considérable, ce mode de fermeture ne serait plus admissible. L'ouverture évasée de chaque tuyau est alors garnie d'une soupape de fond (fig. 3505) que l'on manœuvre de la surface supérieure du réservoir à l'aide d'une tige verticale en fer fixée sur la tête de la vis qui soulève le clapet dont la figure montre nettement la coupe. La tige cylindrique que l'on voit au-dessous de ce clapet lui sert de guide et l'oblige à se poser exactement sur son siége quand on fait redescendre la vis par un mouvement de rotation convenable.

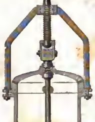


Fig. 3505. — Soupape de fond.

Tracé et diamètres des conduites. — L'eau amenée aux réservoirs, il ne reste plus qu'à la distribuer dans la ville, à l'aide des moyens et appareils que l'on va faire connaître.

La première question à résoudre est de déterminer la direction des tuyaux à poser dans la ville et le volume d'eau que doit porter chacun d'eux.

La direction des tuyaux est commandée par les circonstances locales. On s'arrange seulement autant que possible de manière à faire passer les conduites maîtresses près des points culminants et près des bornes-fontaines. On doit d'ailleurs faire communiquer entre elles les conduites les plus importantes par des conduites secondaires, afin qu'un accident survenu à une de ces artères principales ne compromette pas le service sur toute sa longueur.

En se reportant à ce qui a été dit paragraphe 2, on déterminera facilement le volume d'eau que doit porter dans ses différents points la conduite que l'on considère. On connaît d'ailleurs le nivellement complet de la conduite et la hauteur du réservoir ou du bassin de distribution qui l'alimente. On a donc tous les éléments nécessaires pour déterminer le diamètre à donner aux différentes parties de cette conduite.

On sait en effet qu'en désignant par I la pente par mètre d'une conduite, par D son diamètre intérieur, par v la vitesse de l'eau qui la traverse, on a, d'après M. de Prony, entre ces diverses quantités, la relation :

$$\frac{1}{4}DI = 0,0000173\,v + 0,000348\,v^2;$$

$$\text{d'où } v = \sqrt{0,0062 + 2874,44\,\frac{D}{4}\,I.} - 0,025.$$

$$\text{D'ailleurs le débit } Q = \frac{\pi D^2}{4}\,V.$$

On a donc deux équations entre le débit, le diamètre, la pente par mètre et la vitesse, et par conséquent, toutes les fois que l'on se donnera deux de ces quantités, on pourra calculer les deux autres.

Les ingénieurs avaient reconnu depuis longtemps que ces formules ne représentaient pas exactement les faits. M. Darcy a démontré en effet que les deux coefficients numériques qui précèdent ne sont pas constants, comme on le croyait. Ils varient avec l'état de la surface interne du tuyau et avec son diametre. Pour un même état de la surface, le coefficient a de v dans l'expression ci-dessus varie avec le diamètre, de telle sorte que l'on dit $a = \alpha + \frac{\beta}{D}$. Soit que l'on adopte, du

reste, les anciens coefficients de Prony ou les coefficients variables de M. Darcy, les tâtonnements que nécessite l'application des formules précédentes seraient toujours extrêmement longs. Pour les abréger, M. de Prony a dressé des tables de la valeur de $\frac{4}{4}$ D I pour les différentes valeurs de e. Ces tables, déjà fort utiles, sont cependant encore d'un usage assez pénible. Pour abréger davantage les calculs, plusieurs ingénieurs, et entre autres MM. Mary, Darcy, etc., ont remarqué qu'en pratique, dans une même ville, on n'employait qu'un nombre assez restreint de tuyaux, de sorte que D n'avait qu'un nombre déterminé de valeurs, et alors ils ont pu dresser des tables donnant pour chaque diamètre de tuyaux la vitesse par seconde et le volume débité correspondent à une perte de charge déterminée. Ces tables, qui n'occuperaient pas moins d'une vingtaine de pages, sont impossibles à reproduire ici ; mais il était nécessaire de signaler leur existence aux personnes qui pourraient avoir à se servir des formules qui précèdent.

Ces indications générales sur la détermination du tracé et du diamètre des conduites suffisent pour indiquer la marche à suivre dans cette partie du travail de distribution, et nous pouvons passer à la description de ces ouvrages.

Nature des tuyaux. — Les tuyaux employés pour les distributions d'eau sont de diverses espèces, que l'on va énumérer rapidement.

Les tuyaux en fonte sont les plus employés dans les villes pour les conduites et branchements principaux.

Les figures 3506 et 3507 donnent les proportions des



Fig. 3507. — Coupe en travers et vue du bouchon d'attente du tuyau fig. 3506.

Fig. 3506. — Coupe d'un tuyau en fonte de 0m,081 de diamètre intérieur à cordon et emboîtement. (Échelle de 0m,010 pour 1 mètre.)

tuyaux en fonte de 81 millimètres de diamètre adoptés par le service municipal de Paris, et, à son exemple, par presque toutes les villes de France. La longueur de ces tuyaux varie de 2 mètres à 2 mètres 50. La pose des tuyaux à cordon et emboîtement est extrêmement simple et donne aux joints une étanchéité parfaite. Les tranchées qui doivent recevoir les tuyaux ont ordinairement 1 mètre 40 de profondeur. On les fait assez larges pour que les ouvriers puissent y descendre. La petite extrémité de chaque tuyau est introduite dans l'emboîtement du tuyau précédent. On introduit alors de force, avec un ciseau à matter, de la corde goudronnée dans l'espace annulaire qui existe entre les deux tuyaux jusqu'à 4 ou 5 centimètres de l'extrémité. On pose alors un boudin d'argile sur l'ouverture de cet espace annulaire, et on y coule du plomb fondu bien chaud. Lorsque le plomb est figé, on le matte fortement pour compléter l'opération. La petite gorge que l'on voit sur la figure à l'intérieur de l'emboîtement empêche cette bague de plomb de céder à la pression de l'eau qui tendrait à la faire sortir.

On a figuré sur le tuyau, figures 3506 et 3507, un taraudage et un bouchon à vis en métal fusible, destiné à s'enlever facilement au moment où l'on veut faire une prise sur la conduite. Cette précaution évite de percer le tuyau en place, opération toujours un peu difficile, de faire un joint avec collier brisé, etc. Cependant, beaucoup de tuyaux n'offrent pas cette disposition particulière.

Les tuyaux ainsi disposés sont parfaitement résistants et peuvent éprouver sans altération les petits mouvements d'allongement ou de raccourcissement que les variations de température tendent à leur faire éprouver. Mais le démontage d'une pareille conduite est à peu près impossible. En chauffant le tuyau pour fondre le plomb, on le fait souvent éclater, et le plus simple est presque toujours de couper au burin et de briser le tuyau que l'on veut enlever pour introduire dans la conduite un branchement à tubulure, un robinet ou toute autre partie nouvelle. Pour éviter ces difficultés, il convient de mettre de place en place dans la conduite un tuyau à bride (fig. 3508) entre un tuyau à bride et

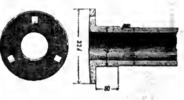


Fig. 3508. — Tête de tuyau à bride en fonte.

cordon et un autre tuyau à bride et emboîtement. Le tuyau à deux brides est réuni aux tuyaux précédents par des boulons, qu'il suffit de dévisser on de couper quand on veut enlever cette partie de la conduite. Il est prudent de placer de pareils tuyaux à la traversée des rues et dans tous les points où l'on peut supposer qu'il sera nécessaire de mettre plus tard de nouvelles pièces de fontainerie. Ainsi que l'indique la figure, les brides présentent une surface un peu conique ; on interpose une rondelle de plomb entre les deux bouts du tuyau, et on la matte fortement lorsque les boulons sont serrés. Sans la forme donnée aux brides, le mattage du plomb n'aurait d'autre effet que de le faire pénétrer dans l'intérieur du tuyau. Les anciennes conduites en fonte étaient entièrement formées de tuyaux à brides. Ces lignes rigides ne pouvaient céder qu'en se disloquant aux efforts de dilatation et de contraction ; aussi les fuites se produisaient-elles fréquemment. On n'emploie plus les tuyaux à brides que dans les cas exceptionnels dont nous parlons, où ils sont sans aucun inconvénient.

Pour raccorder deux parties de tuyau qui ont été coupées, ou deux bouts de tuyaux de diamètres différents, on se sert de manchons. Ce sont de petits tuyaux présentant la même disposition à leurs deux extrémités que l'emboîtement des tuyaux ordinaires. Quelquefois les manchons sont composés de deux parties, ou coquilles, qui se placent l'une au-dessus et l'autre en dessous du tuyau à raccorder. On réunit les deux parties du manchon par des boulons, et on fait le joint comme de coutume. Le raccordement de deux conduites importantes se fait avec un tuyau garni d'une tubulure latérale, ou bien avec des tuyaux bifurqués dits *culotte*.

Les courbes de grand rayon des conduites peuvent se faire avec des tuyaux droits que l'on incline légèrement les uns par rapport aux autres. Pour les courbes de petit rayon, on a des tuyaux courbes comprenant l'angle que l'on veut obtenir.

Le tableau suivant indique les dimensions et les poids des divers tuyaux de fonte employés à Paris. Ces proportions consacrées par une longue expérience sont utiles à faire connaître (Voy. la fig. 3506).

DIAMÈTRE DES TUYAUX à l'intérieur.	DIAMÈTRE DES TUYAUX à l'extérieur.	ÉPAISSEUR des tuyaux.	LONGUEUR DES TUYAUX A emboîtement et cordon, emboîtement et bride.	LONGUEUR DES TUYAUX A bride et cordon.	EMBOITEMENT Longueur.	EMBOITEMENT Épaisseur.	EMBOITEMENT DIAMÈTRE à l'intérieur.	EMBOITEMENT DIAMÈTRE du cordon.	FILET Longueur.	FILET Saillie sur le tuyau.	CORDON ou petit bout. Longueur.	CORDON ou petit bout. Saillie sur le tuyau.	BRIDE DIAMÈTRE extérieur.	BRIDE DIAMÈTRE passant par le centre des trous.	BRIDE Nombre de trous.	BRIDE Épaisseur à la jonction du tuyau.	BRIDE Fruit.	POIDS d'un tuyau à emboîtement et cordon.	POIDS d'un mètre de conduite.
0m,060	0m,078	0m,006	2m,10	2m,00	0m,10	0m,012	0m,066	0m,086	0m,080	0m,003	0m,015	0m,005	0m,138	0m,145	3	0m,020	0m,003	30 k.	10 k.
0 ,081	0 ,000	0 ,008	2 ,30	4 ,65	0 ,11	0 ,013	0 ,110	0 ,010	•	0 ,004	0 ,010	0 ,000	0 ,084	0 ,170	•	•	0 ,004	48	21
0 ,108	0 ,166	0 ,010	id.	id.	0 ,11	0 ,014	0 ,148	•	•	•	•	•	0 ,653	0 ,208	4	•	•	66	30
0 ,135	0 ,156	0 ,010	2 ,64	6 ,50	0 ,14	0 ,015	0 ,175	0 ,020	•	0 ,005	0 ,020	•	0 ,668	0 ,237	5	0 ,021 1/2	0 ,005	95	38
0 ,162	0 ,183	0 ,010 1/2	•	•	•	0 ,015 1/2	0 ,202	0 ,004	•	•	0 ,024	•	0 ,317	0 ,066	6	0 ,022	•	116	47
0 ,160	0 ,016	0 ,011	•	•	•	0 ,010	0 ,236	0 ,026	•	•	0 ,068	•	0 ,347	0 ,280	•	0 ,066	•	144	57
0 ,210	0 ,260	0 ,011 1/2	•	•	•	0 ,016 1/2	0 ,250	0 ,032	•	•	0 ,032	•	0 ,077	0 ,304	•	0 ,004	•	170	66
0 ,650	0 ,274	0 ,012	•	•	•	0 ,017	0 ,266	•	•	•	•	0 ,007	0 ,411	0 ,358	•	•	•	206	82
0 ,300	0 ,366	0 ,016	•	•	•	0 ,018	0 ,648	0 ,034	•	•	0 ,034	•	0 ,450	0 ,397	6	0 ,034 1/2	•	664	105
0 ,365	0 ,656	0 ,013 1/2	•	•	•	0 ,016 1/2	0 ,374	•	•	•	•	•	0 ,486	0 ,433	•	•	•	686	118
0 ,350	0 ,376	0 ,014	•	•	•	0 ,010	0 ,400	0 ,036	•	•	0 ,036	•	0 ,516	0 ,459	•	0 ,066	•	660	131
0 ,400	0 ,466	0 ,014 1/2	•	•	•	0 ,010 1/2	0 ,453	0 ,036	•	•	•	0 ,008	0 ,563	0 ,610	0	•	•	386	156
0 ,450	0 ,480	0 ,016	•	•	•	0 ,020	0 ,504	0 ,040	•	•	•	•	0 ,014	0 ,501	10	0 ,065 1/2	•	450	180
0 ,500	0 ,366	0 ,010	•	•	•	0 ,061	0 ,550	•	•	•	•	•	0 ,066	0 ,813	12	0 ,036	•	510	600
0 ,600	0 ,036	0 ,016	•	•	•	0 ,023	0 ,660	•	•	•	•	•	0 ,770	0 ,717	•	•	•	708	656

Les tuyaux en fonte doivent toujours être essayés à la presse hydraulique avant leur emploi: Tous ceux qui se fondent ou présentent des fuites sensibles sont refusés. A Paris, la pression d'épreuve est de 40 atmosphères, soit de trois fois environ la pression que les tuyaux supportent en charge. Il se forme dans certains tuyaux en fonte des tubercules ferrugineux très-durs, dont l'origine n'est pas encore bien connue. On évite cet inconvénient en enduisant à chaud l'intérieur du tuyau d'un mélange d'huile grasse, de cire et de suif. Cette préparation peu coûteuse est toujours fort utile à la bonne conservation des tuyaux.

Les tuyaux en tôle, recouverts intérieurement et extérieurement d'un enduit bitumineux inventés par M. Chameroy, sont fréquemment employés à Paris et dans les principales villes de France. Nous n'avons rien à ajouter aux indications fournies à ce sujet à l'article TUYAU. Le tableau page 200 donne le prix d'un mètre courant de conduite posée en terre à Paris. Ces prix varient nécessairement avec la valeur des matériaux et de la main-d'œuvre ; mais ce tableau fournit en peu de lignes beaucoup de renseignements utiles, ce qui nous décide à le reproduire.

Les tuyaux en fonte et en tôle sont les seules matières employées pour les grosses conduites. Mais pour les petits diamètres on emploie des tuyaux de diverses autres matières. Les tuyaux en plomb sont très-fréquemment employés. Les tuyaux en tôle zinguée, ceux en fer étiré commencent à devenir pour les conduites d'eau d'un usage assez général.

Il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit au mot TUYAU sur les différentes matières employées à ce genre de construction ; on doit seulement mentionner les tuyaux en papier bitumé que l'on vend à très-bas prix, mais dont une assez longue expérience n'a pas encore fait connaître la valeur.

Robinets. — Un système de distribution comporte un grand nombre de robinets, dont les fonctions sont assez différentes. Les uns servent à isoler une partie de conduite des autres parties, ce sont des robinets d'*arrêt*. On doit en placer à l'origine de tous les branchements secondaires pour que le service de la conduite maîtresse ne soit pas interrompu par les accidents des lignes secondaires. D'autres robinets sont placés aux points les plus bas des conduites pour les vider, ce sont les robinets de vidange. Enfin on place des robinets de service à tous les points où l'eau s'écoule à l'air libre.

La disposition et le volume des robinets dépend de leur destination. Les robinets d'arrêt doivent être de la grosseur de la conduite sur laquelle ils sont montés. Les robinets de service et de vidange sont proportionnés au débit qu'ils doivent fournir.

Pour les petits tuyaux, jusqu'à 0m,06, on peut employer des robinets à boisseau ordinaire que tout le monde connaît. Ces robinets sont placés, dans les travaux de distribution, à l'origine de tous les branchements; on les enveloppe en général de petits murs en briques surmontés d'une cheminée en bois fermée par un tampon de fonte (fig. 3509) qu'on ouvre avec une clef. C'est ce qu'on appelle un robinet sous bouche à clef. On tourne le boisseau avec une tige en fer dont la douille carrée embrasse la tête de ce boisseau.

Ces robinets à boisseau, tels qu'on les construit habituellement, présentent plusieurs inconvénients. Quand ils sont longtemps sans servir, ils deviennent très-durs, et l'on est obligé pour les graisser et les roder de desserrer la clavette placée *au-dessous* du boisseau, ce qui nécessite une fouille de la profondeur de la bouche et assez large pour qu'un homme puisse y aller travailler; d'un autre côté, si le robinet fuit en dessous, on s'en aperçoit difficilement, et l'eau peut s'échapper dans la chambre du robinet, causer des dommages et produire dans tous les cas des pertes inutiles. On emploie en Angleterre des robinets souvent entièrement en fonte (fig. 3510) et dont la disposition me paraît bien

Prix d'un mètre linéaire de conduite de fonte posée en terre.

DIAMÈTRES DES CONDUITES.

DÉTAIL POUR UN TUYAU.	Prix élémentaires.	0m,060 quantité.	0m,060 prix.	0,081 quantité.	0,081 prix.	0,108 quantité.	0,108 prix.	0,135 quantité.	0,135 prix.	0,162 quantité.	0,162 prix.
Débloquage et reblocage du pavé, y compris un pavé neuf par mètre carré	fr. 0,97	1mq,64	fr. 1,90	1,93	fr. 1,97	1,94	fr. 1,91	0,29	fr. 0,10	0,31	fr. 0,25
Déblai de la tranchée	0,45	0mc,83	0,36	0,90	0,42	1,06	0,49	1,30	2,40	1,40	0,63
Dressement du fond et façon des niches	»	»	0,10	»	0,12	»	0,14	»	0,10	»	0,19
Remblai pilonné	0,30	0mc,81	0,23	0,97	0,27	1,06	0,20	1,26	0,38	1,23	0,37
Enlèvement des terres excédantes	1,20	2mc,11	0,14	0,15	0,12	0,12	0,21	0,25	0,20	0,25	0,38
Essai du tuyau et immersion dans l'huile, y compris fourniture d'huile et combustible	0,40	0,90	0,36	1,90	0,80	1,70	0,70	0,60	1,00	0,90	1,00
Transport à pied d'œuvre	»	»	0,07	»	0,12	»	0,14	»	0,00	»	0,24
Descente dans la tranchée et pose	0,85	8k,50	0,33	0,65	0,40	0,75	0,49	0,92	0,63	1,10	0,71
Corde neuve goudronnée pour joints	1,00	0k,11	0,19	0,30	0,04	0,23	0,00	0,40	0,00	0,12	0,74
Plomb pour joints	0,08	14,35	0,90	1,80	1,17	2,33	1,40	2,70	1,72	0,10	2,05
Façon et garantie des joints	»	»	0,40	»	0,30	»	0,70	»	0,00	»	1,90
Éclairage et gardiennage des tranchées	»	»	0,25	»	0,25	»	0,25	»	0,00	»	0,25
Fonte pour tuyaux	0,25	334,00	7,02	50,00	12,03	70,90	16,80	100,»	24,00	120,»	29,80
Prix total par tuyau			10,77		18,27		23,00		32,90		38,00
Longueur utile des tuyaux		0m,00		2,25		2,35		3,00		2,90	
Prix d'un mètre linéaire de conduite			0,99		0,06		10,61		12,84		13,13

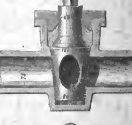
DÉTAIL POUR UN TUYAU.	0,190 quantité.	0,190 prix.	0,216 quantité.	0,216 prix.	0,250 quantité.	0,250 prix.	0,300 quantité.	0,300 prix.	0,325 quantité.	0,325 prix.
Débloquage et reblocage du pavé, y compris un pavé neuf par mètre carré	2,42	fr. 0,33	2,90	fr. 2,42	2,60	fr. 0,22	0,79	fr. 2,67	0,82	fr. 2,79
Déblai de la tranchée	1,21	0,68	1,64	0,75	1,77	0,90	2,00	0,96	0,12	0,93
Dressement du fond et façon des niches	»	0,20	»	2,32	»	0,00	»	0,30	»	0,32
Remblai pilonné	1,19	0,40	1,91	0,48	1,62	0,42	1,79	0,60	1,60	0,52
Enlèvement des terres excédantes	0,20	0,36	0,31	0,40	0,37	0,40	0,46	0,60	0,51	0,66
Essai du tuyau et immersion dans l'huile, y compris fourniture d'huile et combustible	0,44	1,40	3,00	1,90	0,12	1,25	0,22	0,25	0,74	0,00
Transport à pied d'œuvre	»	0,29	»	0,34	»	0,42	»	0,35	»	0,60
Descente dans la tranchée et pose	1,22	0,81	1,40	0,91	1,90	1,04	1,25	1,90	2,10	1,36
Corde neuve goudronnée pour joints	0,30	0,00	0,25	0,20	0,70	0,24	0,80	0,90	0,00	1,02
Plomb pour joints	0,00	0,44	4,10	2,67	2,10	0,31	2,00	0,90	0,50	4,01
Façon et garantie des joints	»	1,10		1,23	»	1,45	»	1,70	»	1,82
Éclairage et gardiennage des tranchées	»	0,25	»	0,23	»	0,23	»	0,90	»	0,00
Fonte pour tuyaux	148,»	33,80	1,70	40,90	210,»	60,40	0,30	60,00	0,96	71,00
Prix total par tuyau		44,89		60,67		64,06		70,42		97,01
Longueur utile des tuyaux	2,50		0,50		0,50		2,30		0,00	
Prix d'un mètre linéaire de conduite		17,35		61,07		23,60		21,77		33,12

DÉTAIL POUR UN TUYAU.	0,350 quantité.	0,350 prix.	0,400 quantité.	0,400 prix.	0,450 quantité.	0,450 prix.	0,500 quantité.	0,500 prix.	0,600 quantité.	0,600 prix.
Débloquage et reblocage du pavé, y compris un pavé neuf par mètre carré	2,00	fr. 0,60	0,00	fr. 0,96	0,90	fr. 2,10	0,25	fr. 2,04	0,65	fr. 0,54
Déblai de la tranchée	0,22	1,01	3,00	1,19	2,70	1,29	3,00	1,37	3,67	1,65
Dressement du fond et façon des niches	»	0,35	»	0,10	»	0,40	»	0,50	»	0,00
Remblai pilonné	1,96	0,35	2,10	0,00	2,38	0,00	2,50	0,70	0,97	0,79
Enlèvement des terres excédantes	0,57	0,74	0,68	0,88	0,79	1,00	0,94	1,22	1,30	1,03
Essai du tuyau et immersion dans l'huile, y compris fourniture d'huile et combustible	2,10	0,70	7,05	3,10	7,90	2,30	0,65	2,90	3,48	0,00
Transport à pied d'œuvre	»	0,90	»	0,70	»	0,90	»	1,00	»	1,49
Descente dans la tranchée et pose	0,35	1,40	0,00	1,00	2,90	1,03	2,25	2,10	4,00	0,00
Corde neuve goudronnée pour joints	0,90	1,90	1,10	1,33	1,20	1,44	1,30	1,56	1,50	1,90
Plomb pour joints	7,90	4,52	2,60	3,00	0,53	0,20	10,35	0,02	12,20	0,32
Façon et garantie des joints	»	1,90	»	0,20	»	0,40	»	2,70	»	0,25
Éclairage et gardiennage des tranchées	»	0,25	»	0,23	»	0,23	»	0,23	»	0,33
Fonte pour tuyaux	300,»	79,20	390,»	80,00	4,80	106,»	9,00	104,80	710,»	170,40
Prix total par tuyau		97,32		119,00		131,06		150,31		200,01
Longueur utile des tuyaux	0,00		0,90		0,30		2,30		9,50	
Prix d'un mètre linéaire de conduite		38,90		43,56		52,40		60,12		60,37

meilleure. La chambre du boisseau est entièrement fermée à sa partie inférieure.

Fig. 3509. — Robinet sous boucha à clef.

Le serrage du boisseau et son graissage sont obtenus à l'aide d'une boîte à étoupe



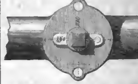


Fig. 3510. — Robinet à boisseau avec boîte à étoupe.

placée au-dessus. On peut donc, avec des clefs convenables, serrer ou desserrer le boisseau, et même l'enlever complétement pour le visiter par l'ouverture de la bouche à clef. La fouille ne devient nécessaire que pour le remplacement du corps du robinet tout entier. J'ai vu des robinets de cette espèce sur des tuyaux de $0^m,10$ qui fonctionnent encore très-facilement.

Pour les tuyaux d'un diamètre supérieur à ceux dont nous parlons, on est obligé d'avoir recours à des appareils de fermeture plus compliqués. L'un des meilleurs est la robinet-vanne (fig. 3511). Ainsi que son nom l'indique, la pièce ascent elle de cet appareil est une véritable vanne en forme de coin très-allongé, que l'on

élève et que l'on abaisse du dehors à l'aide d'une vis. Pour fermer le tuyau on abaisse la vis et l'on amène la vanne dans la position indiquée dans la figure. Pour ouvrir le tuyau, on tourne la vis en sens convenable pour relever la vanne et l'amener dans la chambre placée au-dessus du tuyau. Cet appareil fonctionne parfaitement bien, arrête l'eau d'une manière complète, quel que soit le sens dans lequel s'exerce la pression, mais il exige une assez grande hauteur libre, et son prix est excessivement élevé, en raison des soins que nécessite l'ajustage et de la quantité considérable de bronze qu'il renferme.

Élévation latérale. Coupe.

Fig. 3511. — Robinet-vanne de $0^m,35$.

On a fait beaucoup d'essais pour remplacer le robinet-vanne par un appareil plus simple et moins coûteux. Pour les grands diamètres, on n'est pas encore arrivé, à ma connaissance, à un résultat tout à fait satisfaisant. Pour les diamètres moyens, on emploie assez souvent, depuis quelque temps, des robinets à clapet (fig. 3512) dits système Cadet. On ouvre ces robinets en tournant la vis de manière à soulever le clapet; on les ferme en tournant en sens contraire pour appliquer le clapet sur son siége. Ces robinets fonctionnent très-bien quand la pression s'exerce sur le clapet. Ils seraient moins satisfaisants si la pression s'exerçait en sens inverse. Malgré ces inconvénients, leur bas prix leur assure un assez grand succès : un robinet pour conduite de 80 millimètres ne coûte, en effet, dans ce système, qu'une quarantaine de francs.

Fig. 3512. — Robinet à clapet. (Échelle de $0^m,1$ pour un mètre.)

Ventouses. — Lorsqu'on vide un tuyau de conduite, en ouvrant le robinet de décharge situé à sa partie inférieure, il faut laisser rentrer l'air à la partie supérieure, et réciproquement, quand le tuyau se remplit, il faut que l'air s'échappe par les points culminants de la conduite. Un petit robinet que l'on manœuvre à la main, en temps opportun, remplit parfaitement ce double office; mais comme il est difficile de surveiller le robinet de décharge et le robinet d'évent, s'ils sont éloignés, on a construit des appareils spéciaux pour assurer automatiquement la sortie et la rentrée de l'air (fig. 3513).

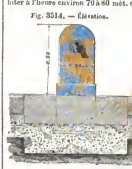


F. 3513. — Ventouse.

Cet appareil, que l'on nomme ventouse, se compose d'un vase cylindrique en fonte boulonné verticalement au point culminant de la conduite. Ce vase est fermé par une plaque en fonte percée au centre d'une ouverture garnie d'un siége de soupape en bronze. Un flotteur sphérique assez gros supporte, à l'aide d'une tige guidée par une bride, la soupape conique destinée à fermer l'ouverture dont on vient de parler. Le temps que la conduite est en charge l'eau soulève le flotteur et la soupape est tenue fermée. Aussitôt que le robinet de décharge est ouvert, le flotteur descend et la soupape s'ouvre à son tour.

Appareils d'écoulement. — Il n'y a rien à dire ici des robinets d'écoulement placés dans les maisons, leur construction est connue de tout le monde. La disposition des fontaines monumentales varie nécessairement pour chacune d'elles avec l'effet à produire, et nous ne pouvons dès lors donner à cet égard aucun renseignement général. Le seul appareil d'écoulement que nous ayons à mentionner ici est donc la borne-fontaine. Ainsi qu'on l'a déjà dit, les bornes-fontaines doivent débiter à l'heure environ 70 à 80 mèt. cubes; elles sont ouvertes, à Paris, pendant deux ou trois heures par jour. Le puisage y est toléré pendant cet intervalle. Cette tolérance est assurément une bonne chose et un grand progrès sur l'interdiction qui avait d'abord été faite à la population pauvre d'y prendre de l'eau. Mais ce n'est pas assez; en attendant que toutes les maisons soient dotées d'une distribution permanente, il faut que les voisins d'une borne-fontaine puissent y puiser à toute heure. A cet effet, quand on ne possède pas assez d'eau pour assurer l'écoulement permanent des bornes, il faut que chacune d'elles porte, comme à Dijon (fig. 3514 et 3515) et dans beaucoup d'autres villes, un robinet à repoussoir qui se referme de lui-même quand on cesse de presser le bouton, et qui permet d'avoir de l'eau à toute heure pour les usages domestiques.

Fig. 3514. — Élévation.



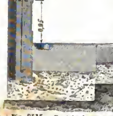


Fig. 3515. — Fontaine à repoussoir.

Je décrirai, en terminant, un appareil (fig. 3516) très employé en Angleterre, fort utile pour entretenir un niveau constant dans les lavoirs et les abreuvoirs, et qui pourrait rendre beaucoup d'autres services. Le fond du réservoir porte une tubulure *h* par laquelle doit se faire l'écoulement. Un manchon en caoutchouc *gg* réunit cette tubulure au tuyau de descente *d*. Ce tuyau est garni à sa partie inférieure d'un flotteur *ee* plongeant dans une petite cuvette de distribution communiquant avec les bassins qu'il s'agit de maintenir constamment remplis au même niveau que la cuvette de distribution. Quand la cuvette et les bassins sont remplis, le flotteur *ee* soulève le tube *d*, la tubulure se trouve fermée et le réservoir ne débite plus. Si le niveau baisse dans la cuvette, par suite de tirages faits aux bassins qu'elle alimente, le flotteur descend, le caoutchouc *gg* s'allonge un peu et l'eau sort par la tubulure du réservoir jusqu'à ce que le niveau soit rétabli.

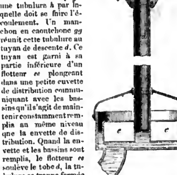


Fig 3516. — Distributeur à niveau constant.

Il nous reste à dire un mot du mode de vente de l'eau aux habitants des villes. On distingue deux systèmes principaux de distribution : la distribution continue et la distribution discontinue. Dans ce dernier système, la conduite d'eau est ouverte chaque jour pendant un certain temps, et l'abonné en profite pour remplir un réservoir d'une capacité déterminée, où il puise l'eau le temps que la conduite est fermée. Les inconvénients de ce système sont universellement reconnus, le public et les compagnies s'en plaignent également en Angleterre où il est assez répandu.

Dans le système de distribution continue, les tuyaux sont constamment en charge, et l'on a de l'eau à toute heure en ouvrant un robinet. Mais dans ce système, comment fixer le prix de l'abonnement et le volume de chaque abonné ? comment éviter le gaspillage inutile de l'eau ? On a essayé de mettre dans chaque maison, un robinet dont le boisseau est percé d'un trou assez petit pour assurer par un écoulement continu, le débit en 24 heures du volume concédé. Mais ce système de jaugeage nécessite l'emploi d'un réservoir, recevant continuellement le filet d'eau de la concession et auquel on puise l'eau par des robinets de dimensions ordinaires. D'un autre côté, ces petits orifices s'obstruent avec la plus grande facilité, et comme on ne peut pas les laisser à la disposition de l'abonné, il faut à chaque instant recourir aux agents de la distribution. Ce système, aussi mauvais que celui de la distribution intermittente, ne saurait devenir d'un usage général.

L'insuccès de cette tentative et de beaucoup d'autres essais portent plusieurs personnes compétentes à penser que le mieux est de concéder l'eau à discrétion, en établissant la taxe d'abonnement proportionnellement à la valeur locative de l'immeuble desservi. Ce mode d'abonnement fonctionne très-bien dans certaines villes, et l'on ne remarque pas qu'il entraîne d'abus et de gaspillages. Toutefois, on doit remarquer que la solution vraiment rationnelle de l'abonnement serait l'emploi de compteurs analogues à ceux employés pour le gaz, laissant à l'abonné la faculté d'avoir de l'eau à discrétion, mais enregistrant exactement sa consommation dont la dépense serait ensuite réglée à intervalles déterminées. Malheureusement, il n'existe pas encore un bon compteur à eau pour ces petits débits, mais il y a lieu d'espérer que cette question posée aux mécaniciens ne tardera pas à être résolue. On essaye en ce moment même à Paris des appareils qui paraissent devoir réussir, dont il sera parlé à l'article JAUGEAGE. HERVÉ MANGON.

ÉCLAIRAGE. Nous allons passer en revue plusieurs intéressantes inventions qui sont à signaler dans la belle industrie de l'éclairage.

ÉCLAIRAGE A L'HUILE. — Les perfectionnements apportés à l'éclairage à l'huile se rapportent presque exclusivement au perfectionnement de la lampe à modérateur, inventée par M. Franchot, employée aujourd'hui presque exclusivement à toute autre.

Ces perfectionnemens ont porté sur deux points.

Le premier consiste à prolonger la durée de l'action du ressort qui fait monter l'huile, afin d'éviter les interruptions fâcheuses qui se reproduisaient toutes les quatre ou cinq heures avec les anciennes lampes. En augmentant la capacité du réservoir et la grandeur du ressort spiral, on est parvenu à donner à l'élévation de l'huile une durée de neuf à dix heures, toujours parfaitement suffisante.

Le second a porté sur le modérateur même, dont l'action n'est pas toujours pratiquement aussi satisfaisante qu'on le pourrait croire. Un constructeur paraît l'avoir remplacé assez convenablement par un petit robinet qui fonctionne bien (au moins quand la lampe est neuve), les différences de vitesse d'ascension de l'huile, dans les divers états de bandement du ressort, étant peu considérables, ce qui est dû tant à l'exiguïté du passage qu'à la viscosité du liquide.

Il nous semble qu'on pourrait faire mieux dans cette voie et donner sans inconvénient aux lampes à ressort la propriété d'élever l'huile avec autant d'abondance que dans les lampes Carcel, toujours supérieures quant à la beauté de la combustion, sans cependant que l'action du ressort durât trop peu de temps.

Je pense qu'on obtiendrait cet effet en faisant affluer l'huile sur la mèche par un tube d'un plus grand diamètre que celui employé actuellement. L'excédant de l'huile retomberait dans un godet appartenant à une espèce de cataracte (fig. 3517). Ce godet serait percé d'un trou de la grandeur la plus convenable, déterminée par expérience. L'extrémité du levier pressant sur une partie du tube d'ascension formée par un cuir, si l'huile s'accumule dans le godet son poids rétrécira l'orifice du passage et il passera moins d'huile ; celle déjà passée dans le godet s'écoulera sans être remplacée par de nouvelle. On obtiendra ainsi un état d'équilibre, un mouvement régulier qui pourra, ce nous semble, fournir une excellente solution, avec le seul assujettissement toutefois de conserver la petite cataracte mobile dans un état de propreté convenable.

3517.

Lampe Jobard. — L'ingénieux M. Jobard a inventé une petite lampe ou plutôt une veilleuse perfectionnée qui, produisant la combustion dans les conditions les plus convenables, donne une quantité vraiment éton-

nente de lumière eu égard à sa dépense minime, à la faible consommation d'huile.

Elle confirme pratiquement le résultat auquel était arrivé M. Payen par des expériences faites sur le bec Chaussenot, dont nous parlerons plus loin; c'est que la plus grande intensité de lumière est produite par un excès d'air qui donne une flamme blanche, et que le maximum de lumière pour une même consommation est obtenu au moyen d'une moindre quantité d'air et aussi à l'aide de l'échauffement préalable de l'air, partie de la chaleur produite n'étant plus employée à chauffer l'air. Dans ces conditions, la flamme est longue, rouge jaunâtre, les molécules charbonneuses restent longtemps incandescentes.

Nous donnons le dessin de la petite lampe de M. Jobard (fig. 3518). On voit qu'elle est formée d'un verre à pied, dont le fond reçoit l'huile et la mèche qui fonctionne par sa seule capillarité. Il est recouvert d'une plaque de cuivre qui est percée à son centre pour laisser échapper les produits de la combustion, et près des bords de trous qui laissent descendre l'air froid, qui s'échauffe dans son parcours et vient brûler l'huile déposée dans la mèche. Cette combustion s'effectue avec la régularité la plus parfaite, sans la moindre oscillation de la lumière.

3518.

Cette lampe ne brûle que 7 grammes d'huile, soit 1/2 centime par heure, et donne assez de clarté pour qu'on puisse écrire et travailler à sa lumière.

C'est évidemment par la régularité de l'alimentation avec l'air strictement nécessaire, que M. Jobard a obtenu ce curieux résultat, car il brûle l'huile dans l'air chauffé par son contact avec les parois du verre.

Bien que n'ayant pas très-bien réussi dans la pratique, succès qui répond à une foule de questions d'éclat, de facile nettoyage difficiles à prévoir, ce petit appareil est fort curieux. Les résultats qu'il donne au point de vue, notamment de sa faible consommation, sont très-intéressants. Il peut être comparé au caléfacteur-Lemare, qui donne de même, au point de vue du bon emploi de la chaleur, d'intéressants résultats, limités malheureusement à des appareils de petites dimensions.

Emploi des hydrocarbures. — *Lampe Donny.* — M. Donny, savant belge fort distingué, a combiné très-heureusement une lampe très-convenable pour les éclairages en plein air, à l'aide des résidus que fournit la distillation de la houille et des schistes. Elle commence à se répandre et excite l'admiration partout où on en fait l'application. Elle a été fort appréciée à la Société d'encouragement. Nous donnons ici le rapport qui a été fait par M. Masson sur cette invention.

« La production, toujours croissante, du gaz d'éclairage est accompagnée d'une si grande quantité de goudron, qu'on a essayé, il y a quelques années, de le brûler sous les cornues ; ce mode de combustion, incomplet et défectueux, et, par suite, incommode, n'était, pour ainsi dire, qu'un moyen de disséminer, dans l'atmosphère et par les cheminées, des substances dont l'encombrement était fort gênant. Les résidus de l'épuration du gaz et les eaux ammoniacales ne trouvaient aucun placement.

« Dans cet état de choses, des industriels intelligents, éclairés par la science, pressés par l'intérêt et souvent par la nécessité de se débarrasser de substances nuisibles, ont augmenté la fortune publique en transformant en produits utiles des matières perdues, quelquefois dangereuses.

« Les goudrons nous donnent des huiles essentielles, d'où l'on tire la benzine, des essences pour la parfumerie et des matières tinctoriales (l'acide picrique). L'industrie du caoutchouc prend dans les usines à gaz son principal agent, son liquide dissolvant la gomme élastique. Enfin le goudron sec ou brai trouve son emploi dans les agglomérés de houille, dans le charbon de Paris et l'asphalte. Toutefois, parmi tous les produits que l'on extrait du goudron de houille, il en est un qui n'a pas encore trouvé sa place ; on le désigne sous le nom d'huile lourde, à cause de sa densité et de sa faible volatilité.

« Les huiles lourdes se présentent encore, et abondamment, dans la distillation des schistes bitumineux et de certains lignites.

« Le succès, justement mérité de l'huile de schiste dans l'éclairage, nécessitant, chaque jour, la création de nouvelles usines, la production d'huile lourde ira nécessairement en augmentant jusqu'à devenir un obstacle au développement de nos établissements d'éclairage. Une seule usine va bientôt distiller 24 à 25 tonnes, par jour, d'un schiste anglais, nommé *boghead*, donnant au moins 40 à 45 pour 100 d'huile brute qui, par un traitement convenable, fournit abondamment une huile volatile, qui brûle parfaitement, comme l'alcool, dans des lampes sans niveau, sans odeur ni fumée, et donnant une lumière blanche et éclatante d'un grand pouvoir éclairant. Parmi les produits de la distillation du boghead nous trouvons : 1° un gaz très-pur et bien supérieur au gaz de la houille (la perte presque totale de ce gaz très-abondant fait vivement regretter que les distilleries de schistes ne soient pas assimilées aux usines à gaz et placées près des villes qu'elles pourraient éclairer avec les gaz perdus) ; enfin l'huile lourde, qui vient encore diminuer les rendements des schistes en produits utiles.

Les huiles lourdes sont ainsi produites dans une foule de circonstances, leur quantité augmente jusqu'à devenir désolante ; car, récemment, un fabricant belge a été obligé de payer des dommages et intérêts pour infiltration d'une huile qu'il avait enfouie dans le sol. La compagnie parisienne en possède actuellement 200,000 kilog. ; à Londres, un seul fabricant peut en fournir 18,000 litres par semaine, à raison de 0 fr. 11 c. le litre.

« Il fallait de toute nécessité trouver un emploi à ces liquides. Employées quelquefois, comme les huiles de résine, dans le graissage des machines, les huiles lourdes n'ont eu qu'un usage très-restreint ; produits d'une température élevée, elles sont fixes, très-difficilement inflammables, et ne peuvent servir dans les lampes à niveau.

« Les savants et les industriels ne pouvaient rester impassibles en présence des difficultés suscitées par l'abondance toujours croissante de ces huiles, et, dans différents pays, on a fait de nombreux et vains efforts pour les employer dans le chauffage ou l'éclairage.

« Pénétré de l'importance qu'aurait pour l'industrie la solution d'un problème regardé par tous comme très-difficile, M. Donny l'a étudié pendant plusieurs années, et nous pensons qu'il l'a heureusement résolu.

« Les huiles lourdes sont si peu volatiles qu'on ne peut, sans les avoir préalablement chauffées, les allumer par un corps enflammé. Comme tous les hydrocarbures d'un ordre élevé en carbone et en hydrogène, elles exigent pour brûler une très-grande quantité d'oxygène. Si ce gaz est insuffisant pour brûler tout le carbone et l'hydrogène, il agit d'abord sur l'hydrogène, et le charbon se dépose.

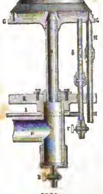
« Si la présence de ce dernier corps dans la flamme est d'abord nécessaire pour produire, par son ignition, l'intensité de la lumière, il doit disparaître ensuite et brûler entièrement. Une trop grande abondance de charbon, relativement à l'oxygène employé, occasionne

le refroidissement de la flamme, qui devient rougeâtre, et laisse dégager sous forme de fumée une grande quantité de ce charbon.

« Pour brûler les huiles lourdes sans fumée, il fallait trouver un moyen simple de les réduire en vapeur et de leur fournir la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion de tous leurs éléments. M. Donny atteint ce double but (fig. 3519 et 3520) de la manière suivante :

« La vaporisation de l'huile et sa combustion s'opèrent dans un vase métallique à fond plat et de forme circulaire. Un vase de Mariotte, d'une construction nouvelle, fournit constamment l'huile au foyer et maintient un niveau constant. Le fond du vase à combustion porte à son centre un tube par lequel arrive de l'air comprimé dans un gazomètre ou dans un soufflet.


3519.


3520.

« L'emploi d'un courant d'air forcé pour brûler des liquides de mauvaise qualité n'est pas nouveau, mais on ne pouvait en faire une meilleure application. L'appareil de M. Donny n'a aucune mèche ; pour enflammer l'huile lourde, on verse sur sa surface un liquide volatil et combustible.

« Le succès n'a pas justifié d'abord les espérances que M. Donny avait fondées sur la théorie et des principes excellents, et il s'est trouvé en face de grandes difficultés qu'il a vaincues avec un rare bonheur.

« Après avoir perdu toute sa partie volatile, le goudron s'élève, par une espèce de capillarité, sur les parois du réservoir, se déverse à l'extérieur et produit en se décomposant, non-seulement une vapeur qui brûle avec une épaisse fumée, mais encore un dépôt de charbon qui va toujours en augmentant jusqu'au point de rendre impossible l'emploi de la lampe.

« Pour remédier à ce grave inconvénient, on a ménagé autour du vase à combustion un canal concentrique, et dans lequel le goudron vient se déverser, pour tomber ensuite au dehors par un tube fixé à la partie inférieure de la rigole. On évite ensuite l'inflammation du goudron par une toile métallique fixée sur le bord extérieur de la lampe et formant toiture sur le canal circulaire. Un cône placé sur le foyer limite la flamme et complète l'appareil.

« Avec ces dispositions, M. Donny brûle complétement et sans fumée toute espèce d'huiles lourdes, même les plus mauvaises, sans les avoir soumises à aucune épuration.

« L'appareil sur lequel nous avons appelé l'attention de la Société n'est pas destiné au chauffage et à l'éclairage des appartements ; il ne fera aucune concurrence aux procédés connus, il a ses fonctions spéciales. Par ses proportions, qui n'ont pas de limites, il peut servir dans l'éclairage des places publiques, des gares de chemins de fer, des ports, etc. Il peut dans beaucoup de cas être utilisé dans le chauffage, et la chaleur qu'il dégage fournira la force motrice nécessaire au mouvement de l'air qui doit l'alimenter.

« Nous avons assisté aux expériences de M. Donny, et nous avons constaté les résultats suivants : une petite lampe a fourni une belle flamme très-blanche et sans aucune odeur ou fumée. Le diamètre de cette flamme était de 1 centimètre, sa hauteur mesurait 1 décimètre et l'intensité de sa lumière équivalait environ à dix bougies.

« Nous avons ensuite opéré avec un grand modèle. La lumière valait environ quatre cents bougies ; à 30 mètres du foyer on pouvait facilement lire un journal. La flamme, très-blanche et sans fumée, avait 50 centimètres de hauteur sur 10 centimètres de diamètre. La petite lampe brûlant environ 7 centilitres de liquide par heure, et la grande lampe dépensant 3 litres dans le même temps, nous pouvons apprécier le prix du nouvel éclairage.

« Évaluant à 11 centimes le litre d'huile lourde, le prix d'une lumière équivalent à une bougie est, par heure, de 0 f. 00077 dans la petite lampe, et 0 f. 0008 dans la grande.

« Ainsi, une bougie brûlant pendant une heure ne coûte pas la millième partie de 1 franc. Cet éclairage est donc cinq fois moins cher que l'éclairage au gaz, qui fournit la lumière d'une bougie pour 0 fr. 0043.

« La lampe de M. Donny, qui peut, à l'aide d'une disposition convenable, être facilement et promptement transportée d'un point à un autre, éclairera de vastes ateliers ou les grands travaux qui réclament la lumière électrique. »

ÉCLAIRAGE AU GAZ. Le prix de revient du gaz d'éclairage est une question fort intéressante sur laquelle d'excellents travaux ont été faits au sujet du renouvellement du traité entre la ville de Paris et les compagnies du gaz.

Nous allons donner le résumé des expériences faites sous la direction de M. Regnault à ce sujet, et d'abord nous donnerons le prix de revient du gaz à Paris tel qu'il était établi dans les mémoires présentés par les anciennes compagnies dont l'intérêt les portait nécessairement à quelque exagération.

1° Dépense nette, occasionnée par la houille distillée et déduction faite de la vente du coke, du goudron et des eaux ammoniacales.	0f,1054
2° Frais de fabrication, épuration, entretien des fourneaux et conduites	0f,0644
3° Frais de distribution et impôts sur les conduites.	0,0178
4° Frais généraux d'administration. . . .	0f,0229
5° Octroi établi sur le gaz entrant dans Paris.	0f,0200
Prix de revient de 1 mètre cube de gaz livré au bec.	0f,2305

De ces éléments du prix de revient, le premier et le plus important est le seul qui puisse être déterminé

pour des expériences directes. Tel a été le but des expériences de M. Regnault effectuées à Sèvres, à l'aide d'une petite usine à gaz établie à l'extrémité du parc de Saint-Cloud.

Nous empruntons ce qui suit à son rapport :

« Six opérations ont été faites avec des houilles de différentes provenances, et voici les quantités qui ont été distillées dans chacune d'elles :

	Poids de l'hectol. ras.	Quantité employée.
1° Houille d'Anzin (tout-venant) semblable à celle qui est prise par les usines de Paris	87k.	94—20,500k.
2° Houille de Mons (tout-venant)	84	40— 8,500
3° Idem (idem) mauvaise qualité, presque toute menue	90	00— 7,500
4° Houille de Mons un peu moins menue que la précédente . . .	85	175—13,000
5° Houille de Mons (tout-venant) aspect des houilles à gaz. . . .	89	00— 5,000
6° Houille du grand Hornu (Mons), belle d'aspect, renfermant plus de gros que les précédentes . .	79	175—20,000

Le tableau suivant réunit les résultats pratiques de ces six opérations, ramenées à une même consommation de 100 kilog. de charbon distillé, et donne en même temps des moyennes qu'on est en droit de considérer comme se rapportant à un roulement ordinaire d'usine.

NUMÉROS des opérations.	PROVENANCES.	CONSOMMATIONS.		PRODUITS.			
		HOUILLE distillée.	COKE brûlé.	COKE (tout-venant) à vendre	GOUDRON.	EAUX ammoniacales.	GAZ.
		kil.	kil.	kil	kil.	kil.	met. cub.
1	Anzin. .	100	21,60	52,80	6,35	6,30	23,90
2	Mons . .	100	20,82	57,78	6,37	6,96	24,10
3	Id. . . .	100	19,56	52,85	7,31	7,97	21,00
4	Id. . . .	100	20,73	54,15	5,67	8,24	21,33
5	Id. . . .	100	20,52	56,42	7,74	7,03	24,16
6	Grand-Hornu. .	100	19,36	56,15	6,93	7,67	23,15
Moyennes. .		100	20,43	55,02	6,73	7,31	22,04

On a consommé en moyenne, pour l'épuration du gaz, 1k,58 de chaux.

Voici maintenant les produits en matières, donnés par la première opération, comparés avec ceux des usines de Paris; la comparaison est faite sur 100 kilog. de houille distillée :

	Usines de Paris.		Usine expérimentale.	
Gaz	23 m. c. 05	—	23 m. c. 94	
Coke brûlé . .	24 kil.	79 —	21 kil.	60
Coke à vendre.	40	41 —	52	80

Les quantités de gaz produit diffèrent peu, comme on le voit, par le rapprochement de ces chiffres. A l'usine expérimentale, la dépense de coke brûlé exclusivement pour le chauffage des cornues est inférieure à celle des usines de Paris qui emploient en outre une certaine quantité de goudron.

Enfin il y a une grande différence entre les quantités de coke à vendre; cette différence tient en grande partie à ce que le chiffre des usines de Paris représente du coke trié et non du coke tout-venant. Les compagnies gazières ont l'habitude de porter un déchet de 15 pour 100 sur la valeur en argent de tous les produits accessoires de la fabrication, et ce déchet ne peut s'appliquer qu'au triage du coke.

Les quantités de goudron et d'eaux ammoniacales n'ont pu être comparées.

Les données qui précèdent permettent de calculer le prix de revient du mètre cube de gaz au gazomètre.

Si on désigne, en effet, par A le prix du kilog. de la houille au pied de la cornue,

par B le prix du kilogr. de coke (tout-venant) à la vente dans l'usine,

par C le prix du goudron,

par D le prix des eaux ammoniacales,

on aura pour le prix de revient, par le fait seul du charbon, de 22m c,94 de gaz au gazomètre,

$$A.\ 100 - B.\ 55,02 - C.\ 6,73 - D.\ 7,31,$$

et le prix du mètre cube de gaz au gazomètre sera :

$$\frac{1}{22,94}\ (A.\ 100 - B.\ 55,02 - C.\ 6,73 - D.\ 7,31).$$

Cette formule s'appliquera à toutes les usines qui fabriqueront le gaz à la cornue dans des conditions analogues à celles des opérations précédentes et avec des houilles semblables; il suffira d'y substituer, à la place des coefficients A, B, C, D, les valeurs des prix qu'ils représentent dans la localité et au moment donné.

ESTIMATION DE LA VALEUR VÉNALE DES HOUILLES ET DES PRODUITS ACCESSOIRES FABRIQUÉS. — La valeur de la houille et celle des produits accessoires de la fabrication du gaz sont très-variables suivant les localités, et pour la même localité elles varient suivant les époques. La commission a cherché à connaître ces diverses valeurs dans le mois de janvier 1855, pour une usine placée hors de Paris et située dans le voisinage soit d'un port de déchargement, soit du débarcadère du chemin de fer du Nord, par lequel arrivent principalement les charbons à gaz.

« *Prix de revient de la houille*. — D'après les renseignements pris sur les lieux mêmes d'extraction par M. Boudousquié, ingénieur en chef des mines à Valenciennes, auquel la commission a cru devoir s'adresser en toute confiance, le prix de revient de la tonne de houille au pied de la cornue peut être établi comme suit pour les charbons belges et français qu'emploient ordinairement les usines à gaz de Paris :

PROVENANCES	POIDS de l'hectol.	PRIX sur la mine.	DROIT de douane	FRET par bateau.	DÉCHARGEMENT.	TRANSPORT A L'USINE.	PRIX de la tonne de houille
Mons . .	90 k.	13 f. 89	1 f. 65	8 f. 83	1 f.	1 f.	26 f. 43
Anzin. .	90	13 ,61	»	7 ,78	1	1	21 ,39
Denain ,	86	14 ,83	»	6 ,70	1	1	23 ,53
Douchy.	90	13 ,89	»	6 ,60	1	1	22 ,49
Prix moyen.							23 f. 96

« L'usine, qui serait placée auprès du chemin de fer, pourrait facilement faire arriver ses wagons jusque dans ses magasins ; elle éviterait ainsi les frais de transbordement. En déduisant ce transbordement et en tenant compte des diverses bonifications accordées par la compagnie du chemin de fer du Nord, on aurait pour le prix de revient des 1,000 kilog. au pied de la cornue :

Houille d'Anzin.	22 f. 93
— de Denain	23 ,58
— belge.	24 ,65

« Il est bon d'ajouter ici que tous les charbons distillés, dans les opérations auxquelles s'est livrée la commission dans l'usine expérimentale, ont été achetés, rendus à la porte de Paris, à 23 fr. la tonne, avec un droit de commission de 6 pour 100.

« *Prix du coke.* — En établissant le compte-matières de l'usine expérimentale, on a compté comme *coke à vendre* le coke tout-venant tel qu'il sort des cornues, déduction faite de celui qui sert au chauffage; il faut établir la valeur vénale de ce coke.

« Dans les usines à gaz, la vente du coke se fait en l'enlevant sur une pelle à grille dont l'écartement des barreaux est moyennement de 0m,025, et chargeant immédiatement ce coke dans les mesures. Le poussier et une partie des fragments les plus petits tombent à travers la grille et restent sur le sol. Le menu, qui s'accumule ainsi, est soumis à un criblage qui le divise en escarbilles et en poussier. Dans quelques usines, on vend le poussier et l'escarbille ensemble; dans d'autres, on les vend séparément.

« Le coke se vend à la voie, qui est de 15 hectolitres, et pèse 615 kilogr.

« Le prix du transport de la voie, de l'usine à domicile, est de 2 fr., auxquels il faut ajouter le droit d'entrée qui est de 4 fr. 40 c.

« Les expériences de la commission ont permis d'établir que le menu (escarbille et poussier) était dans la proportion de $\frac{4}{10}$ du gros coke et produisait une perte de 4 pour 100 environ à la vente du tout-venant.

« Cela posé, il a été facile, en ayant égard aux considérations précédentes, d'établir, pour chaque usine de Paris, le prix du coke tout-venant vendu au pied de la cornue. Pour cela, on a acheté du coke dans chaque usine, et, en retranchant des prix portés sur les factures le transport à domicile, le droit d'octroi et la perte de 4 pour 100 comptée sur le menu, on est arrivé aux chiffres suivants :

	Prix de la tonne au pied de la cornue.
Compagnie parisienne, barrière d'Italie (extra muros)	32 f. 45
Compagnie anglaise, barrière de Courcelles.	36 ,84
Compagnie anglaise, avenue Trudaine.	33 ,72
Compagnie française, à Vaugirard. . .	33 ,72
Compagnie de l'Ouest, à Passy.	34 ,68
Compagnie Lacarrière, rue de la Tour.	39 ,96

« La commission a vendu à des marchands de charbon, à raison de 23 fr. la voie, le coke tout-venant fabriqué à l'usine expérimentale de Sèvres. Ce coke pesant en moyenne 42k,50 l'hectolitre, il s'ensuit que la voie est de 637k,50, ce qui porte le prix de la tonne à 36 fr. 10 c.

« On verra plus loin, dans les calculs du prix de revient du gaz, qu'on a adopté, pour le coke tout-venant, le prix de 30 fr. la tonne ou de 19 fr. la voie, qui est notablement inférieur à celui des usines de Paris.

« *Prix du goudron et des eaux ammoniacales.* — *Goudron.* — D'après les renseignements recueillis, le prix moyen des goudrons vendus n'est pas au-dessous de 5 fr. les 100 kilog. Celui de l'usine de Sèvres a été vendu en partie à 6 et 7 f.; la commission a cru devoir adopter le prix de 5 fr.

« *Eaux ammoniacales.* — On admet généralement que le prix des eaux ammoniacales paye l'épuration du gaz. Les compagnies d'éclairage ayant l'habitude de compter à part les frais d'épuration, la commission, en établissant le compte de revient du gaz par le seul fait de la houille, a été obligée de négliger les frais d'épuration et de porter en avoir le produit de la vente des eaux, qu'on estime à 0 f. 50 l'hectolitre, soit environ 5 fr. les 1,000 kilogr.

« CONCLUSIONS. — D'après les prix qui viennent d'être établis pour la houille, rendue dans une usine extra muros convenablement située, pour le coke tout-venant, pour le goudron et les eaux ammoniacales, il a été facile, à l'aide de la formule pratique établie plus haut, de calculer le prix de revient du mètre cube de gaz de l'usine de Sèvres; voici le chiffre qu'on a trouvé :

Dépenses.	100 kil. de houille, à 24 fr. la tonne.		2 f. 40
Produits.	55 kil. coke tout-venant, à 30 fr. la tonne	1 f. 650	2 f. 022
	6,73 goudron, à 5 f. les 100 kil. . .	0 ,336	
	7,34 eaux ammoniacales, à 5 f. les 1,000 kil. . . .	0 ,036	
Les 22 m. c. 94 de gaz au gazomètre ont donc coûté			0 f. 378

« Ce qui met le prix du mètre cube à 0 f. 0165.

« Si l'on supposait que le prix de la tonne de houille rendue à l'usine fût de 25 fr. au lieu de 24, on aurait, pour le prix du mètre cube de gaz, 0 f. 0208.

« En prenant la moyenne des six opérations qu'elle a faites, la commission fait remarquer qu'elle arrive à un rendement de gaz inférieur à celui des usines de Paris; cela tient à ce que deux de ces opérations ont été faites, à dessein, dans de mauvaises conditions, c'est-à-dire avec des houilles qui, sans aucun doute, eussent été rejetées par les compagnies à gaz. De plus, il est important de constater que, pour les produits accessoires, il a été constamment admis des prix inférieurs à ceux qui existent aujourd'hui. Il y a donc lieu de penser que le prix de revient auquel on a été conduit, pour le mètre cube de gaz, est plutôt trop élevé que trop faible.

« Cependant on peut arguer que le déchet subi par le coke tout-venant, dans un roulement d'usine, est plus considérable que celui qu'on a supposé. On a admis, dans le calcul précédent du prix de revient du gaz, que le prix du coke tout-venant était de 19 fr. la voie de 15 hectolitres, ou 30 fr. la tonne; or on peut voir qu'en prenant le prix extrêmement bas de 12 fr. la voie ou 18 fr. 82 c. la tonne, on arrive pour le mètre cube de gaz au prix de 0 f. 0439. Enfin, si les produits accessoires de la fabrication, coke, goudron et eaux ammoniacales, n'avaient aucune valeur, le mètre cube de gaz ne reviendrait encore qu'à 0 f. 104.

« Mais on peut se demander aussi à quel prix le coke tout-venant doit se vendre, pour que, les autres matières conservant la valeur spécifiée plus haut, le gaz ne coûte rien *par le fait de la houille;* on trouvera que c'est 36 fr. 87 c. la tonne, ou 23 fr. 50 net la voie de 15 hectolitres. Ce prix ne dépasse pas beaucoup ceux que l'on demande aujourd'hui, dans les usines, pour le coke enlevé à la pelle à grille.

« En résumé, la commission croit pouvoir conclure, avec confiance, des longues expériences auxquelles elle s'est livrée et dans lesquelles elle s'est attachée à se rapprocher le plus possible des conditions de roulement d'une grande usine, que *le mètre cube de gaz, au gazomètre, peut être obtenu, dans une usine bien dirigée et convenablement située auprès et hors des murs de Paris, à un prix qui ne dépasse pas 2 centimes dans les conditions actuelles de valeur des matières premières et des produits accessoires de la fabrication.* Il est bien entendu qu'il ne s'agit ici que du prix de revient *par le fait seul de la houille,* c'est-à-dire en faisant abstraction de tous frais de fabrication, d'administration, d'entretien de conduites, de capitaux engagés dans l'opération, etc.

« Le prix du mètre cube de gaz rendu au bec ne dé-

passera pas 2 centimes 1/2, en admettant même le déchet de 25 pour 100 dans les tuyaux de conduite annoncé par les compagnies et qui a été souvent contesté. D'ailleurs, si la perte par les tuyaux est un élément considérable dans le débat quand le prix de revient du gaz est porté à 8 centimes au gazomètre, il est clair que son importance devient bien minime lorsque ce prix de revient descend en-dessous de 2 centimes.

« Considérations sur la production du coke dans les usines a gaz de Paris. — En présence de la consommation toujours croissante du coke adopté non-seulement par les usines, surtout par les petites industries de la ville, mais encore par le chauffage domestique, la commission s'est attachée à démontrer, dans la dernière partie de son rapport, que, lors même que le coke des fours, fabriqué sur les lieux d'extraction de la houille, viendrait faire sur les marchés de Paris une concurrence sérieuse au coke des usines à gaz, on aurait tort de craindre que les prix actuels ne vinssent à baisser au-dessous de ceux qui ont été admis précédemment.

« En examinant, en effet, la situation du fabricant de gaz et celle du fabricant de coke, on voit que, pour une même quantité de houille soumise à la distillation, le fabricant de gaz obtiendra *sans frais de fabrication* une certaine quantité de coke et de goudron; il fait payer à la vente du gaz produit ses frais de toute nature et son bénéfice.

« Le fabricant de coke peut obtenir d'une même quantité de houille une plus grande quantité de coke que le fabricant de gaz; mais l'excédant ne peut dépasser, dans aucun cas, la quantité de coke que le fabricant de gaz brûle sous ses cornues; car, pour que cette limite soit atteinte, il faut que le fabricant de coke, dans les fours, n'emploie absolument pour son chauffage que les gaz et les matières volatiles qui sont produits par la distillation de la houille. Or, d'après les expériences de la commission, si 100 kilog. de houille donnent dans la fabrication du gaz 55 kilog. de coke à vendre, il ne pourrait pas en donner plus de 75 dans les fours, car, dans ce dernier cas, il n'y aurait pas eu de charbon brûlé pour opérer la carbonisation.

« La concurrence avec le coke des fours empêchera donc seulement le coke des usines à gaz de dépasser une certaine limite; mais cette limite sera toujours très-supérieure au prix établi pour le coke tout-venant, à moins que le prix de la houille ne baisse considérablement. En tout cas, cette baisse serait encore plus à l'avantage du fabricant de gaz, parce qu'il consomme une plus grande quantité de houille pour produire une quantité égale de coke à vendre.

« D'ailleurs, il est possible de fabriquer le gaz d'éclairage de manière que le coke obtenu présente des qualités analogues à celles du coke des fours. On y parvient en choisissant convenablement les houilles, les réduisant en poudre et les distillant en masses considérables dans des fours qui permettent de recueillir le gaz produit. La calcination se faisant alors plus lentement, le coke se boursoufle moins, surtout sous la pression que lui opposent les couches supérieures. Il paraît que certaines usines à gaz de Paris, notamment la Parisienne, fabriquent ainsi avec avantage des cokes supérieurs qu'elles vendent aux chemins de fer à un prix beaucoup plus élevé que le coke ordinaire des cornues. Elles emploient pour cette fabrication les gaillettes qu'elles retirent de la houille tout-venant, et elles ne distillent dans les cornues que le menu qui en provient.

« Mais on peut parvenir au même résultat avec le four ordinaire des cornues, en distillant dans une partie des cornues des houilles fortes, telles que celles qui donnent le coke des hauts-fourneaux, et, dans les autres, une houille très-grasse ou un bitume qui fournit à la distillation beaucoup d'huile volatile, par suite un gaz très-éclairant, et en mélangeant les gaz immédiatement au sortir des cornues et dans un espace dont la température est suffisamment élevée. Deux opérations nouvelles (7e et 8e) ont été faites à ce sujet par la commission; elles démontrent que ce procédé peut être employé avec avantage.

« La 7e a été faite sur une houille tout-venant de Bois-du-Luc, dont l'hectolitre pèse 89k,86. Cette houille doit être classée parmi les houilles fortes et dures, qui donnent de bon coke pour les hauts-fourneaux, mais qui produisent un gaz pauvre en carbone et impropre à l'éclairage, car, au photomètre, son pouvoir éclairant a été trouvé seulement le tiers de celui de l'usine de Boulogne.

« La 8e opération a été faite en chargeant quatre des cornues avec 100 kilog. de houille de Bois-du-Luc, et la 5e avec 50 kilog. de *boghead cannel-coal*; ce bitume avait été acheté à Paris à raison de 75 fr. la tonne, prix qui serait probablement beaucoup moindre si on le faisait venir d'Écosse directement et en grandes quantités. On avait eu le soin préalablement de faire sortir du gazomètre tout le gaz obtenu dans l'opération précédente.

« Le gaz obtenu dans cette opération, où l'on a passé sept charges successives dans les cornues, était de très-bonne qualité. Les comparaisons photométriques ont montré qu'il suffisait de 80 litres de ce gaz pour donner autant de lumière que 42 grammes d'huile brûlée dans la lampe Carcel type. D'ailleurs le gaz n'a pas plus perdu de son pouvoir éclairant que le gaz ordinaire de la houille, soit par son passage dans de longs tuyaux, soit par un séjour prolongé dans le gazomètre; car, après vingt-quatre heures, on lui a trouvé à très-peu près le même pouvoir éclairant.

« Le coke était très-beau, très-dense, et il a donné peu de menu au criblage. Le poids de l'hectolitre comble tout-venant est de 52k,5. L'essai de ce coke a été fait sur des locomotives du chemin de fer de Strasbourg. Suivant M. Sauvage, ingénieur en chef des mines, il a donné beaucoup de vapeur, mais a brûlé beaucoup trop vite, inconvénient qui disparaît facilement en introduisant des modifications dans la grille et dans le tirage par l'échappement.

Numéros des opérations.	Provenances.	Consommations.			Produits.			
		Combustible distillé.		Coke brûlé.	Coke tout-venant à vendre.	Goudron.	Eaux ammoniac.	Gaz.
			kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	mèt. cub.
7	Bois-du-Luc		100	23,90	65,10	2,20	»	23,13
8	Bois-du-Luc	88,89	100	29,58	54,33	3,31	4,67	25,74
	Cannel-coal	11,11						

« En supposant la tonne de houille à 25 fr., le prix du coke (qualité supérieure) à 38 fr., le boghead cannel-coal à 75 fr., le goudron et les eaux ammoniacales ne changeant pas, on a trouvé que le prix du mètre cube de ce gaz était 0 f. 032. Du reste, on peut s'en assurer en faisant le calcul à l'aide des chiffres consignés dans le tableau suivant, qui donne le résumé des deux dernières opérations comparées aux six premières qui ont été faites.

« On remarquera que les eaux ammonicales n'ont pas été portées dans la 7e opération; cela tient à ce que la quantité n'en a pas été connue exactement, par suite d'infiltrations accidentelles dans la citerne.

« Le gaz reviendrait à un prix plus bas, si l'on remplaçait le boghead par un schiste bitumineux analogue, ou par des produits accessoires d'autres fabrications, dont la valeur serait moindre que celle que la commission a attribuée au boghead d'Écosse. »

Becs pour la combustion du gaz. — La bonne disposition des becs qui servent à la combustion du gaz est d'une grande importance. En produisant le maximum de lumière pour une même consommation de gaz, ils peuvent être la source d'importantes économies. Ce résultat sera surtout obtenu par les becs donnant une flamme très-régulière, pas trop allongée, afin d'agir comme un point lumineux, en permettant au besoin l'action d'un réflecteur.

Bec Chaussenot. — Nous donnerons d'abord le bec Chaussenot, inventé depuis plusieurs années, et nous emprunterons au *Traité de l'éclairage au gaz* de M. Pelouze une étude intéressante faite sur ce bec :

« La Société d'encouragement avait offert un prix de deux mille francs pour les moyens les plus efficaces d'augmenter le pouvoir illuminant des flammes produites par la combustion des gaz d'éclairage. Ce prix a été adjugé en 1836 à M. Chaussenot. Et cependant, malgré l'immense avantage signalé en faveur de son appareil par les rapporteurs du concours, jusqu'ici la découverte qu'ils ont fait couronner n'a donné, que nous sachions, aucun résultat pratique, quoique l'exécution de l'appareil soit facile et présente beaucoup de simplicité. Faut-il attribuer cette stérilité à l'apathie du public qui repousse si souvent, pendant un temps plus ou moins long, les découvertes les plus utiles, ou bien y aurait-il eu quelque méprise ou du moins quelque exagération dans le rapport si favorable qui a été fait à la Société d'encouragement? C'est ce que nous ne sommes pas à même de décider.

« Le programme de la Société, au surplus, rappelait dans son ensemble des principes assez certains et que nous croyons devoir reproduire ici :

« 1° Que la quantité de lumière est proportionnée à la température plus ou moins élevée des particules charbonneuses et au nombre d'entre elles existant à la fois à l'état d'incandescence depuis le moment de leur précipitation jusqu'à leur transformation en un gaz invisible ;

« 2° Que les courants d'air rapides, qui rendent les flammes plus brillantes, plus blanches et moins volumineuses, diminuent la quantité totale de la lumière émise par un bec ;

« 3° Que les courants, quand ils sont trop faibles, en donnant à la flamme moins d'éclat, une coloration plus rouge, un volume plus grand, à cause d'une combustion moins rapide, faisaient diminuer l'intensité lumineuse d'une égale section de la flamme, tout en accroissant en somme la quantité de lumière produite ;

« 4° Enfin, que le maximum d'intensité lumineuse totale avait lieu au moment où des particules solides charbonneuses étaient tout près d'échapper à la combustion, tant la proportion d'air ambiant s'approchait de la limite strictement utile. On conçoit d'ailleurs la nécessité où l'on est toujours de s'écarter d'une telle limite, dans la crainte de la dépasser et d'occasionner une déperdition de gaz et une production de fumée.

« Mais était-il impossible, se demandait la Société, de réunir les deux conditions d'une température plus élevée dans les particules charbonneuses et d'un assez grand volume de la flamme?

« Les ingénieuses dispositions imaginées par M. Chaussenot, déclarent les rapporteurs, ont produit ce résultat remarquable : quelques mots suffiront pour le prouver. L'appareil de M. Chaussenot se compose d'une double enveloppe de verre, disposée de telle sorte que l'air extérieur s'échauffe beaucoup avant d'arriver à la flamme dont il doit entretenir la combustion. Cette circonstance permet à la fois de mieux utiliser l'oxygène de l'air, d'employer moins d'excès de ce dernier pour obtenir la précipitation du carbone et sa combustion; enfin, par cette raison même et par l'élévation de la température de l'air, de moins refroidir la gaz qui brûle, et par conséquent de lui conserver davantage de pouvoir illuminant.

« Les commissaires de la Société d'encouragement annoncent qu'avec l'appareil de M. Chaussenot, ils ont varié et répété les expériences, et toujours avec un égal succès; enfin, ils concluent, ce qui semble un résultat bien élevé, que l'augmentation totale de lumière, des quantités égales de gaz étant brûlées, est sensiblement de 0,33, si on la compare à celle produite dans les becs ordinaires. Les commissaires font d'ailleurs remarquer que le moindre afflux d'air dans le bec Chaussenot doit nécessairement donner une plus grande stabilité à la flamme, l'empêcher d'être vacillante, la rendre moins fatigante pour les yeux, moins influencée par les courants inconstants de l'air extérieur; ils affirment que ce dernier fait a été dûment constaté; en exposant sous la galerie des Proues, au Palais-Royal, où il règne constamment des courants très-forts et très-variables, l'un des becs en expérience, on a obtenu le résultat le plus décisif et le plus satisfaisant. »

C'est, nous pensons, le défaut de simplicité qui a empêché cet appareil de réussir. Les verres sont toujours dans la pratique des corps qui éteignent en partie la lumière et un double verre devait offrir des inconvénients certains.

On a cherché par des dispositions plus simples à obtenir partie des avantages du bec Chaussenot. Nous avons déjà parlé (art. ÉCLAIRAGE) de l'excellente disposition imaginée par M. Macaud, pour éviter les brusques variations du courant d'air; nous citerons encore la suivante, très-propre à assurer la régularité de la lumière.

Bec Parisot. — Le bec Parisot est formé de pièces qui s'emboîtent de manière à laisser une fente circulaire pour la sortie du gaz, et de plus former à la partie intérieure du bec un petit réservoir qui forme régulateur et empêche la flamme de rien ressentir des remous produits dans les conduites. Avec ce bec et une toile métallique sur le passage de l'air, la flamme du gaz courant est d'une parfaite stabilité, condition nécessaire pour bien des travaux.

Gaz de tourbe. — Le gaz extrait de la tourbe jouit de propriétés éclairantes remarquables. Bien qu'on ne puisse, à notre avis, fonder sur l'exploitation de la tourbe l'alimentation des vastes usines à gaz comme celles qui servent à l'éclairage des grandes villes, et qui reposent sur la richesse immense des mines de houille, cependant ces résultats peuvent offrir des applications intéressantes, et ont beaucoup d'intérêt au point de vue scientifique.

Lorsque la tourbe est introduite dans une cornue de fonte chauffée au rouge sombre, elle donne immédiatement un mélange de gaz permanent et de vapeurs

susceptibles de se condenser en un liquide oléagineux. Ces deux produits se séparent bientôt en vertu de la différence des états physiques qu'ils affectent à la température ordinaire : aussitôt refroidie, l'huile de tourbe est rassemblée dans un vase spécial, tandis que le fluide permanent, continuant son trajet, va se rendre dans un gazomètre.

Cet hydrogène carboné gazeux, l'un des produits immédiats de la distillation de la tourbe, est par lui même tout à fait impropre à l'éclairage ; il donne une flamme très-petite, comparable pour l'éclat à une flamme de punch, et qui, par conséquent, ne répand sur les objets environnants que fort peu de lumière. L'huile de tourbe est un liquide visqueux, noirâtre, fortement odorant et assurément très-complexe, qui, soumis à une nouvelle distillation, se résout tout entier en gaz permanent, en hydrogène très-richement carboné. Le mélange gazeux, que j'appellerai gaz d'huile, contraste singulièrement par ses propriétés avec le gaz obtenu dans la première opération. En brûlant, il donne une flamme six ou huit fois plus étendue et douée du plus vif éclat. On mêle alors ces deux gaz ensemble, le riche et le pauvre, et l'on obtient un gaz moyen, propre à la consommation. Quand l'opération est bien conduite, une fournée de tourbe, traitée comme il vient d'être dit, donne successivement un gaz pauvre et un gaz riche qui, versés dans la même cloche, forment un mélange capable de produire une belle flamme, et que j'appellerai mélange naturel. On reconnaît aisément, à la vue simple, que ce dernier mélange possède un pouvoir éclairant plus considérable que le gaz courant fourni par la distillation de la houille. Cette supériorité est assez évidente pour que le gaz de tourbe paraisse pouvoir devenir l'objet d'une exploitation sérieuse.

C'est ce que prouvera bien un des tableaux photométriques que nous emprunterons encore à une intéressante brochure de M. Foucault que nous mettrons encore à contribution à l'article PHOTOMÉTRIE, où sera expliquée la méthode employée dans ces expériences par ce physicien :

Comparaison des gaz avec un faisceau de sept bougies. Évaluation des intensités au moyen du photomètre à compartiments. Becs n° 2, pressions égales de 22mm.

		CARRÉS.	RAPP.
Bougies	1,	10000	2,93
Tourbe	1,712	29344	
Bougies	0,988	9761	3,51
Tourbe	1,85	34225	
Bougies	1,085	11772	3,31
Tourbe	1,973	38927	
Bougies	1,156	13363	3,33
Tourbe	2,11	44521	
Bougies	1,196	14304	3,54
Tourbe	2,25	50625	
Moyenne			3,32
Bougies	1,44	20736	0,97
Gaz de la ville	1,42	20164	
Bougies	1,59	25281	0,98
Ville	1,573	24743	
Bougies	1,455	21170	0,97
Ville	1,435	20592	
Bougies	1,69	28561	0,94
Ville	1,64	26896	
Bougies	1,555	24180	0,99
Ville	1,547	23932	
Moyenne			0,97

Comparaison des deux gaz.

Gaz de la ville	1,238	15326	3,38
Tourbe	2,276	51802	
Ville	1,315	17292	3,27
Tourbe	2,377	56501	
Ville	1,36	18496	3,27
Tourbe	2,46	60516	
Moyenne			3,31

Interversion des gaz dans les becs.

Gaz de la ville	1,375	18906	3,11
Tourbe	2,425	58806	
Ville	1,25	15625	3,49
Tourbe	2,334	54476	
Ville	1,207	14568	3,30
Tourbe	2,194	48136	
Moyenne			3,30

Moyenne générale : 3,30.

On voit que le gaz de tourbe, le mélange des deux gaz dont nous avons parlé, a une très-grande supériorité de pouvoir éclairant sur le gaz de houille fourni pour l'éclairage de Paris. Le pouvoir éclairant de celui-ci étant exprimé par 100, celui du gaz de tourbe s'est maintenu dans des limites comprises entre 150 et 300.

Carburation du gaz. — Des essais curieux pour accroître dans une forte proportion le pouvoir éclairant du gaz, ont été faits par plusieurs inventeurs, en faisant passer le gaz à travers des hydro-carbures. Le système le plus apprécié, le carburateur Lacarrière, consiste en un appareil à niveau constant, qui fournit le liquide que le gaz vient traverser. Avec de la benzine, le pouvoir éclairant du gaz courant de Paris a augmenté de 30 p. 100 pour une dépense correspondant au quart de ce qu'eût coûté le gaz qui eût donné cette lumière. Malgré cela, la pratique n'a pas encore consacré l'emploi d'un système qui complique quelque peu l'usage du gaz, dont l'extrême simplicité est surtout appréciée du consommateur.

ÉCONOMIE AGRICOLE. Jusqu'au milieu du siècle dernier, dans la plus grande partie du monde civilisé, partout on peut dire, à l'exception de quelques contrées jouissant d'avantages naturels tout particuliers, la culture de la terre ne se dirigeait guère que par les principes du vieux Caton, et nous doutons que l'on pût établir qu'elle possédât une supériorité positive sur l'agriculture romaine. Aider faiblement, autant que cela était absolument nécessaire, le travail naturel du sol et de la végétation, dépenser le moins possible pour la terre comme pour celui qui le cultivait, telle était à peu près toute la science économique du cultivateur, et, il faut le dire, ce n'est que grâce à de nombreuses expériences, à des succès indiscutables, que nos paysans commencent à ne plus se moquer de la création d'exploitations créées à grands frais, dirigées dans des voies toutes différentes de celles qu'ils étaient habitués à parcourir.

C'est surtout l'habitude de l'industrie manufacturière qui, en Angleterre d'abord et enfin en France, a changé les idées relativement à l'agriculture, et a fait comprendre que ce n'était pas une industrie différente des autres, en ce sens que c'était en raisonnant de la même manière qu'on devait parvenir aux mêmes succès. Ce n'est peut-être qu'en Allemagne que l'agriculture, objet de la passion des populations intelligentes et laborieuses, s'est développée avant l'industrie ou concurremment avec elle, et son expérience a été mise à profit par les autres nations pour réaliser les progrès qui ont amené les agriculteurs avancés de toute l'Eu-

rope à peu près au même niveau, comme il arrive aujourd'hui pour la plupart des fabricants.

L'exemple de l'industrie, avons-nous dit, a été favorable à l'agriculture sous bien des rapports, mais notamment en habituant les esprits à rechercher le produit net le plus élevé possible en agriculture, c'est-à-dire non pas celui qui résulte du minimum absolu de dépenses, comme on le croyait autrefois, mais celui que procurent les dépenses les plus profitables. On voit de suite que cette agriculture, qui réclame un large emploi du capital, est l'agriculture des pays riches, mais doit rendre beaucoup plus à égalité de dépenses, et l'on comprend ce qu'est un progrès qui augmente dans une proportion notable les produits d'une industrie qui montent dans l'état actuel des choses à environ 6 milliards de francs par an, en France.

Nous passerons rapidement en revue les principales pratiques agricoles, au point de vue économique, en les classant sous trois divisions :

1° Moyens d'accroître la fertilité ;
2° —d'obtenir les produits les plus avantageux ;
3° —de diminuer les dépenses.

Enfin nous terminerons par quelques mots sur la petite culture.

I. *Moyens d'accroître la fertilité.* — Certains sols jouissent d'une réputation méritée de fécondité ; les éléments les plus convenables pour la végétation s'y trouvent dans les meilleures proportions. A la rigueur il ne paraît pas impossible de modifier artificiellement la plupart des sols de qualités inférieures, de manière au moins à les rendre tout à fait propres à certaines cultures, par l'addition des éléments minéraux qui leur manquent, et que, par quelques fouilles, on peut presque toujours trouver dans le voisinage. Quelques provinces doivent leur richesse et leur fertilité à ce mode d'opérer ; c'est ainsi qu'à l'aide de la marne on a transformé des pays sablonneux en pays riches et fertiles. La chaux, employée en quantités considérables, est devenue le point de départ de plus d'une agriculture prospère, et si on doit surtout la considérer comme un excitant, cependant, dans la proportion dans laquelle elle est employée fréquemment, il n'est pas douteux qu'elle n'agisse en transformant, en quelques années, la nature même de la surface du sol arable. L'emploi des phosphates fossiles va servir à accroître le rendement des céréales.

L'abondance d'engrais est la condition capitale de l'abondance de la production, que l'on peut considérer, dans des limites assez étendues, comme proportionnelles à la quantité d'engrais employés ; la végétation étant surtout une réaction chimique produite sous l'influence des forces vitales, qui ne peut prendre naissance qu'autant que les éléments convenables sont en présence. Les progrès des procédés de fabrication des engrais, indépendamment de celui produit dans la ferme, base de la culture, dont nous parlons plus loin, l'utilisation de tous les déchets, de toutes les matières animales, et notamment la conversion des vidanges en engrais complets, sont tout à fait capitaux pour l'agriculture et fourniront le point de départ d'un grand accroissement de richesse agricole.

C'est surtout par l'aménagement des eaux, base fondamentale de toute végétation, que l'agriculture est arrivée à de magnifiques résultats, qui la transforment radicalement, par des travaux qui, une fois faits, accroissent d'une manière permanente la fertilité, la quantité annuelle de la production.

Deux séries de travaux conduisent à ce résultat, le drainage et l'irrigation.

Le *drainage*, pratique par excellence des pays du Nord, des climats humides, a pour objet de débarrasser le sol d'un excès d'humidité toujours nuisible, d'aérer les racines par l'infiltration de l'air qui accompagne l'eau. C'est grâce à cette pratique que l'agriculteur anglais n'a pas craint de continuer le payement de ses fermages, lorsque Robert Peel supprima un énorme droit d'entrée qui pesait sur les céréales qui venaient de l'étranger, et y arriva par une opération qui augmentait dans une proportion plus considérable le rendement des récoltes.

L'*irrigation* est la méthode par excellence des pays chauds ; non pas qu'au Nord elle ne soit d'une extrême utilité pour créer des prairies, pour faire naître des végétaux au milieu des sables et les fertiliser, mais au Midi, avec un soleil brûlant, la végétation est en quelque sorte exclusivement proportionnelle à la quantité d'eau, et les irrigations répandent la vie et la fertilité. La Lombardie, la province de Valence en Espagne peuvent être citées, entre autres contrées, comme des pays qui doivent à des travaux d'irrigation une admirable fertilité ; aucun travail plus profitable, plus rémunérateur ne peut être tenté aujourd'hui dans plus de pays.

En se plaçant à un point de vue plus élevé que celui de l'irrigation par la conduite de l'eau sur le sol, en considérant les contrées qui reçoivent de l'eau abondamment par une cause quelconque, brouillards fréquents dans la montagne comme en Suisse, infiltrations d'eau plus élevées que le sol comme en Hollande, cours d'eau descendant abondamment de la montagne et des glaciers, on comprend comment ces pays se trouvent par ce seul fait naturellement couverts de prairies toujours vertes, qui, sans travail humain, fournissent la nourriture à de nombreux troupeaux, dont la viande, le lait, la laine, etc., procurent naturellement en quelque sorte d'abondantes richesses.

Étendre ou limiter par des travaux bien entendus la sphère d'action des eaux, est donc un des plus puissants moyens, en convertissant des pays pauvres en pays prospères, de multiplier la production spontanée des richesses agricoles, le produit net.

II. *Moyens d'obtenir les produits les plus avantageux.* — C'est surtout en se portant vers la production des récoltes les plus avantageuses, en cherchant à créer les produits qui se vendent au plus haut prix, que les agriculteurs modernes ont imité les industriels ; car malgré l'immensité du débouché des produits agricoles qui en rend toujours la vente facile, c'est souvent sur un bon choix des cultures qui se vendent à un prix très-avantageux, que repose le succès agricole.

Les principaux produits de l'agriculture sont nécessairement les céréales et le bétail, le pain et la viande, bases de l'alimentation humaine. Tant que ces productions sont restées presque complétement séparées, que certaines contrées paraissaient posséder seules le privilége d'élever du bétail, et que d'autres, au contraire, semblaient ne pouvoir sortir de la culture exclusive des céréales, l'agriculture en masse ne pouvait accomplir de grands progrès. Comment accroître la production des céréales, lorsque l'engrais ne leur était fourni que par quelques animaux nécessaires pour les labours et au plus par quelques vaches à l'étable ? Combien ces ressources étaient insuffisantes pour compenser la perte d'éléments essentiels de la production du blé emportés chaque jour avec les récoltes ! Aussi, ce qui doit le plus surprendre, à notre avis, c'est qu'avec une telle manière d'opérer, une fertilité relative aussi grande ait pu persévérer dans les pays à blé, et ce fait montre bien combien nos efforts pour obtenir des productions végétales ne sont qu'une aide donnée aux grands phénomènes météorologiques et vitaux, et qu'il ne s'agit plus ici, comme dans l'industrie manufacturière, d'une production dont nous menions à volonté tous les éléments. Il ne faut jamais l'oublier : quand il s'agit d'a-

griculture, ni que des progrès très-réels nous fassent trop exagérer notre pouvoir.

Cependant, tous les bons agriculteurs avaient reconnu, et des savants allemands tels que Thaër avaient formulé, en principe, la nécessité d'accroître le plus possible le bétail des fermes, indépendamment de la valeur propre du bétail, pour obtenir de belles récoltes de céréales. C'est alors que les prairies artificielles vinrent si heureusement transformer l'agriculture, et en faisant jouir tous les sols, en quelque sorte, de la même fertilité que les pays irrigués, permirent à tout cultivateur d'élever la quantité de bétail la plus convenable pour son exploitation.

De ce jour fut créée l'industrie agricole moderne, qui osa se poser tous les problèmes et les résoudre de manière à obtenir le maximum de produit. C'est à ce moment que correspond l'enseignement agricole d'un des hommes qui furent le plus utiles à la France (qui, bien entendu, n'a su le récompenser que par une statue après sa mort), M. Mathieu de Dombasle, qui démontra à satiété tous les avantages des nouvelles méthodes et entrevit clairement le dernier progrès dont il nous reste à parler, qui fournit, ce nous semble, la solution complète de la question économique.

Tandis que l'on préconisait en Angleterre la culture des plantes sarclées, du turneps notamment, comme moyen de nettoyer parfaitement le sol, en récoltant des quantités de fourrage très-considérables, on avait reconnu en Allemagne que le bétail se trouvait fort bien des résidus de distilleries. Autrement dit, la distillation des pommes de terre, par exemple, laisse aux herbivores une pulpe qui les nourrit autant que la pomme de terre, même avant qu'on n'ait retiré l'alcool. D'où cet immense résultat que la production du bétail, obtenue dans des fermes avec des prairies artificielles d'une manière plus coûteuse que dans les pays de prairies naturelles, ce qui limite la production ou, si l'on aime mieux, rend la culture des céréales plus coûteuse, reprend la supériorité, si l'on emploie une racine qui, avant de nourrir le bétail, a donné un produit industriel. C'est ainsi que la betterave employée à fabriquer le sucre a créé dans nos départements du nord une incroyable richesse agricole, un accroissement de bétail dont nous donnerons idée en citant l'arrondissement de Valenciennes, qui a aujourd'hui cent fois le nombre de bêtes à cornes qu'il possédait auparavant. La distillation de l'alcool, qui se monte aujourd'hui dans les fermes où la betterave passe à la fermentation avant d'aller à l'étable, va être la généralisation de cette prospérité. (Voy. DISTILLATION.)

Ainsi, au point de vue des produits, une exploitation agricole produira aujourd'hui : céréales, produits industriels, tels qu'alcool, colza, bétail et ses produits, tels que laine, lait, etc. On voit comment l'agriculture peut créer, l'abondance de l'engrais étant la cause de l'accroissement de la production végétale et inversement, des produits propres à assurer des rentrées considérables.

111. *Moyens de diminuer les dépenses.* — Nous venons de voir comment l'agriculture produisait des valeurs considérables ; le moyen d'obtenir le produit net maximum consiste donc à faire concorder cette abondance de produits recherchés avec un minimum de dépenses journalières. Les efforts dirigés dans cette voie sont très-grands, et les résultats étaient d'autant plus assurés que la question était tout à fait industrielle, qu'il s'agissait de travaux mécaniques que l'industrie sait exécuter à bon marché par l'invention des machines. C'est ce qu'a parfaitement senti M. Barral, rapporteur à l'Exposition de 1855, qui s'exprime ainsi à propos de la machine à moissonner, une des nouvelles inventions d'outils d'agriculture qui attirait à juste titre l'attention publique.

« Le progrès dans la construction des machines agricoles a pour résultat, non-seulement de mieux faire faire les différents travaux auxquels ces machines sont destinées, mais encore de les faire exécuter à meilleur marché et en économisant la main-d'œuvre. Substituer aux bras de l'homme la force des animaux, et mieux encore celle des moteurs inanimés, eau, vent ou vapeur ; demander à l'homme l'intelligence et l'adresse, et multiplier par les machines la puissance de son action sur le sol et sur les produits de la terre, c'est le problème que résout notre époque. Les peuples neufs entrent avec une ardeur victorieuse dans cette voie qu'ont ouverte leurs devanciers. Ainsi, l'Amérique rend tout d'un coup pratique la machine à moissonner qu'avaient rêvée les Romains, que s'étaient ingéniés à ébaucher les cultivateurs de presque toutes les parties du vieux continent. Les livres d'agriculture de toutes les époques donnaient des descriptions d'engins imparfaits imaginés dans le but de dépouiller le sol de ses riches récoltes assez vite pour que les intempéries ne pussent pas toujours menacer de destruction les fruits de la terre au moment où le cultivateur se dispose à les recueillir. Mais, il y a quelques mois encore, on regardait comme chimérique l'espoir de pouvoir obtenir une machine qui laisserait la faux inactive. Un des principaux résultats de l'Exposition universelle de Paris aura été de montrer des machines à moissonner et à faucher qui font mieux le travail de la coupe du blé ou du foin, que beaucoup de charrues ne labourent nos champs. L'Exposition universelle de Londres avait fait croire que les agriculteurs américains trouvaient plus avantageux de couper imparfaitement tous les blés devant leurs vastes plaines, d'en abandonner une partie, que de s'efforcer de bien moissonner le reste à bras d'hommes. On disait : c'est une affaire de rareté de main-d'œuvre ; en Europe, où l'on a encore des bras pour faire la moisson, les machines à moissonner ne sauraient servir. On croyait d'autant plus que l'on était dans le vrai en raisonnant ainsi, que les essais de la machine écossaise de Bell, qui, disait-on, était identique aux machines américaines, ne donnaient que des résultats très-peu satisfaisants. L'Exposition universelle de Paris a fait voir que les agriculteurs américains, certainement poussés par les intérêts de leurs conditions économiques, avaient assez bien résolu le problème du moissonnage par les machines, pour pouvoir doter le monde entier de leurs puissants appareils. Les mêmes circonstances qui ont conduit à perfectionner les moissonneuses ont dû aussi engendrer les perfectionnements à l'aide desquels les machines à battre sont devenues si énergiques, si rapides, entre les mains des Américains. Récolter vite les gerbes de blé et en obtenir aussitôt du grain prêt à être vendu, c'est bien là la solution du problème des subsistances pour des populations essentiellement commerçantes.

« La vue simple des machines à moissonner dans la galerie de l'Exposition universelle ne pouvait donner une juste idée de leur valeur. Lorsque leurs organes multiples, qui exécutent tant de mouvements différents empruntés à un seul principe d'activité, sont à l'état de repos, on est tenté de regarder ces engins comme les produits d'une imagination en délire. Si ces machines, qu'on nous passe l'expression, restent muettes, on est disposé à nier la possibilité de les employer dans la pratique. Mais la scène change, si de vigoureux chevaux leur sont attelés ; alors on est émerveillé de l'exactitude et de la rapidité des mouvements parfaitement appropriés au travail qu'on leur demande ; les tiges de blé tombent en gerbes pressées et complétement disposées à être liées, avec une telle vitesse que l'ouvrier moissonneur jette sa faux comme désormais inutile. »

Nous avons cité ce passage *in extenso*, non pour ce qui a rapport à une intéressante machine (voyez

MOISSONNEUSE), mais parce qu'il rend parfaitement compte de ce qui se produit lors de toute nouvelle invention de machine agricole. Leur construction, parvenue aujourd'hui à un haut degré de perfection, et qui tend à s'améliorer chaque jour, a diminué les travaux agricoles dans des limites qui semblent bien se rapprocher de celles du possible. Tous les travaux de grange sont enlevés au travail humain par les machines à battre, les tarares mus par la vapeur ou un manége, etc., et les travaux sur le sol, singulièrement réduits par la perfection des machines, charrues et autres, qui opèrent parfaitement avec un minimum de tirage, ou remplacés en grande partie par le travail des chevaux, comme la moissonneuse dont nous parlons plus haut, par l'extension du système de culture économique qui a fait substituer la charrue à la bêche.

Il est toute une partie des travaux agricoles que l'on s'applique actuellement à réduire à une faible dépense annuelle par d'importants travaux antérieurs; nous voulons parler de la distribution et de l'enfouissement des engrais que l'on remplace par le système dit des engrais liquides. Comme c'est surtout par les parties solubles qu'ils renferment que les engrais sont utiles, il en résulte que si l'on place des conduites souterraines en fonte à partir du réservoir placé au centre de l'exploitation jusque vers les extrémités, on pourra, en assemblant un tuyau flexible à une des tubulures saillant de loin en loin, arroser les champs soit avec des engrais plus ou moins étendus d'eau, soit avec de l'eau pure partant du réservoir. C'est, on le voit, réaliser avec peu de main-d'œuvre les conditions de la culture maraîchère, c'est-à-dire obtenir le maximum des produits, la multiplication des récoltes annuelles sur une même surface. Cette pratique, qui se propage dans les comtés de l'Angleterre où l'agriculture est le plus avancée, peut trouver des applications partielles pour les parties consacrées aux cultures les plus précieuses d'exploitations très-avancées, surtout pour certaines cultures fourragères, qui donnent, ainsi conduites, des résultats considérables. L'absence d'humus assimilable dans ces engrais liquides doit faire craindre que ce système prolongé sans interruption, et employé seul, n'épuise la terre.

IV. *De la petite culture*. — Tout ce que nous venons de dire s'applique à l'industrie agricole exercée sur une assez grande étendue de terre, aux procédés propres à assurer le produit net le plus élevé. La question ne doit pas être posée de même pour la petite culture pour laquelle le produit brut doit seul être considéré. Qu'importe que le journalier, propriétaire d'un petit champ, cultive plus chèrement à la bêche qu'à la charrue s'il fait produire par sa culture, à ce champ, le nécessaire pour sa subsistance et celle de sa famille? L'homme n'est pas une machine qui donne tant d'unités de travail par tant de grammes de sueur coûtant une somme déterminée. Les mobiles qui font mouvoir ses bras sont aussi de l'ordre moral, et l'indépendance peut bien s'acheter par un peu plus de travail qui, par une culture maraîchère, fait rendre à une faible étendue de terrain parfaitement défoncé à la bêche, sarclé, soigné de toutes manières, un produit brut considérable.

Si la culture maraîchère, c'est-à-dire la production des légumes et des fruits, est au Nord la ressource de la petite propriété; en s'approchant du Midi, on rencontre deux petites cultures qui donnent des produits nets très-considérables. L'une est la culture de la vigne, qui est de l'horticulture, qui demande des soins multiples de taille, d'émondage, etc., qui sont vraiment du ressort de la petite propriété et qui, dans les années prospères, récompense grandement le vigneron de ses efforts. L'autre est la soie, impossible à produire sur une échelle gigantesque et qui réclame au plus haut point pour réussir l'œil du maître, le dévouement de la ménagère.

Félicitons-nous de voir que dans notre pays autant d'éléments existent pour faire le succès de la petite propriété, puisque, par son heureuse rivalité avec la grande dont les produits deviennent si considérables, l'enrichissement général pourra se développer rapidement pour le plus grand bonheur de tous les citoyens.

ÉGOUTS (ASSAINISSEMENT, VOIRIE). On a indiqué (page 172) les conditions à réaliser et les moyens à employer pour assurer aux populations des villes les bienfaits d'une abondante distribution d'eau de bonne qualité. Mais il ne suffit pas d'amener de l'eau pure dans une ville pour assurer son assainissement; une seconde condition de salubrité, non moins importante que la première, consiste à assurer un écoulement facile et régulier aux eaux salies par le lavage des rues et des maisons, et aux immondices de toute sorte qui se produisent chaque jour dans les grands centres de population.

Fournir des eaux pures à une ville, la débarrasser des eaux souillées par ses déjections, tels sont les deux termes de l'important problème de l'assainissement général d'une cité populeuse.

Les égouts forment, dans les villes convenablement assainies, un système de canalisation souterraine destiné à remplir ce dernier office. On essayera dans cet article de faire comprendre la nature de ces constructions et l'importance des services, ignorée de tant de personnes, qu'elles sont appelées à rendre aux populations urbaines.

Rome antique n'était pas moins remarquable par la grandeur et l'importance de ses égouts que par la perfection de son système de distribution d'eaux pures. Tarquin l'Ancien commença la construction de ce vaste système d'égouts que ses successeurs développèrent avec le temps, et dont la célèbre *cloaca maxima* formait l'artère principale.

Le premier égout proprement dit, construit à Paris, est dû à Hugues Aubriot, prévôt des marchands, qui fit voûter, vers 1374, la rigole découverte qui conduisait les eaux du quartier Montmartre vers le ruisseau de Ménilmontant.

Sous Louis XIV, en 1663, la longueur des égouts voûtés de Paris n'était encore que de 1,207 toises. En 1806, leur développement était de 23,530 mètres. En 1854, de 163,000 mètres, et aujourd'hui, de 470,000 mètres environ. Si considérable que soit ce chiffre, il est loin de satisfaire encore à tous les besoins; la longueur des voies publiques, qui est de 428,000 mètres, excède encore de beaucoup, en effet, celle des égouts. On estime qu'il reste à construire à Paris 56,400 mètres d'égouts de grande et de moyenne section et 233,000 mètres d'égouts de petite section, non compris 80,000 mètres de petits égouts, qui seront sans doute rendus nécessaires par des constructions et des besoins nouveaux.

On indiquera un peu plus loin, d'une manière générale, les règles à suivre dans le tracé d'un système d'égouts. Mais il convient de faire connaître d'abord, par quelques exemples empruntés à Paris et à Londres, les diverses parties de ce genre de construction.

Un égout proprement dit est, comme on sait, une longue galerie construite en maçonnerie, présentant une certaine pente en longueur et servant à l'écoulement des eaux qu'elle reçoit. Les premiers profils adoptés se composaient d'un radier horizontal ou légèrement concave et de deux pieds-droits verticaux réunis par une voûte cylindrique. Ce profil a été adopté à Paris jusqu'en 1831, mais il a reçu depuis lors de nombreuses modifications.

Quand les égouts ont une forte pente et qu'ils sont régulièrement lavés par un volume d'eau considérable, il est inutile de les faire parcourir par des ouvriers, et toutes les formes de section deviennent admissibles,

pourvu que leur débouché soit suffisant. Au contraire, quand les égouts ont peu de pente et qu'il devient nécessaire de les faire nettoyer à bras, il faut adopter un profil dans lequel un ouvrier puisse se mouvoir sans gêne. La hauteur sous clef doit alors être de $1^m,75$ au moins et autant que possible de 2 mètres. La largeur du radier peut varier de $0^m,30$ à $0^m,70$; mais à la hauteur des épaules d'un homme, la galerie doit présenter une largeur de $0^m,90$ au moins. On a donc été conduit à remplacer les pieds-droits verticaux par des pieds-droits inclinés intérieurement, comme on le voit encore dans presque tous les anciens égouts de Paris (figure 3521).

Fig. 3521. — Ancien égout moyen de Paris (échelle de 0,01).

Dans les égouts que l'on construit aujourd'hui les pieds-droits sont cintrés et se raccordent avec la voûte et le radier, de manière que la section totale de la galerie présente la forme ovoïde (fig. 3522) que les ingénieurs anglais avaient adoptée depuis longtemps. Cette disposition permet de réaliser une grande économie de matériaux, et remplit d'ailleurs très-bien le but à atteindre.

Quelques anciens égouts de Paris ont été construits en pierres de taille, mais ces matériaux sont trop chers et d'ailleurs d'un emploi difficile. En général, on emploie la meulière grossièrement taillée et posée avec de très-bon mortier hydraulique ou plus généralement avec du mortier de ciment de Portland, de Pouilly, de Vassy ou autres produits analogues.

Fig. 3522. — Égout actuel moyen de Paris (échelle de 0,01).

Dans ces derniers temps, on a fait de petits branchements en maçonnerie de ciment et de pierres cassées meulées sur place, qui ont très-bien réussi et ont permis de réduire l'épaisseur à $0^m,15$ pour une hauteur de $1^m,20$, en conservant la forme générale indiquée par la figure précédente. Les parois des galeries d'égout, quels que soient les matériaux qui les composent, doivent toujours être revêtues d'un enduit de ciment fin et parfaitement lissé, pour s'opposer à l'adhérence des matières étrangères et permettre un nettoyage complet et facile.

Le prix des galeries d'égout, de forme ovoïde, est de 80 à 90 fr. à Paris, non compris la fouille, et de 110 fr. quand la largeur du radier est portée à $0^m,70$.

Les profils d'égout dont on vient de parler seraient insuffisants pour les artères principales de la canalisation d'une grande ville. L'égout de Rivoli à Paris, par exemple, qui sert d'égout collecteur à une partie de la rive droite, offre les dispositions indiquées fig. 3523. Il présente, outre la cuvette dans laquelle couleront habituellement les eaux, deux trottoirs de $0^m,40$ de largeur, dont les angles sont garnis de bandes de fer destinées à recevoir les roues des wagons employés au transport des immondices ou aux nettoyages.

Fig. 3523. — Égout de Rivoli, à Paris (échelle de 0,01).

Des consoles en fonte, scellées dans les murs des égouts, servent à porter les conduites d'eau, et, plus tard, il faut l'espérer, les conduites de gaz, afin que la voie publique soit débarrassée des bouleversements continuels que nécessite l'entretien de ces deux classes de tuyaux.

Pour pénétrer dans les égouts et les aérer, on construit jusqu'à présent, de distance en distance, des puits ou regards qui montent jusqu'au niveau de la chaussée et qui sont recouverts d'une plaque en fonte. Ces puits ont une section rectangulaire, les parois latérales sont formées parallèlement à l'axe de l'égout par le prolongement des pieds-droits, les deux autres murs reposent sur la voûte qu'ils coupent suivant des plans verticaux. Des échelles en fer sont habituellement fixées à l'intérieur de ces puits.

L'eau qui coule à la surface du sol des rues est introduite dans les égouts par d'autres puits ouverts en dehors de l'axe de la galerie, afin que cette eau ne tombe pas sur les ouvriers qui les parcourent; un petit branchement à forte pente réunit ces puits au radier de la galerie principale. Quand il n'y a pas de trottoirs, les entrées d'eau se terminent par une forte grille en fonte, mais en général, à Paris, les bouches sont ouvertes sous les trottoirs. Il est inutile de décrire en détail ces ouvrages très-simples que l'on voit dans toutes les rues.

Les parties essentielles des égouts de Paris, les galeries, les entrées d'eau, les bouches, les grilles, etc., se retrouvent nécessairement dans les égouts de Londres, mais avec des formes plus ou moins modifiées, en raison du rôle un peu différent qu'ils ont à remplir.

A Paris, comme on l'a dit précédemment, le curage des égouts se fait en grande partie à la main; d'un autre côté, les fosses d'aisances jusqu'à présent ne communiquent pas avec les égouts et les eaux ménagères n'y arrivent point directement. A Londres, au contraire, les immondices de toutes sortes sont versées directement des maisons dans les galeries d'égouts, et l'on cherche, autant que possible, à réduire le curage à la main, que l'on regarde comme une exception fâcheuse, en facilitant de toutes les manières l'entraînement des corps solides par l'écoulement des eaux.

Les galeries d'égouts, construites à Londres et dans les principales villes d'Angleterre, depuis quelques années, présentent une section ovoïde. La figure 3524 donne le profil exact de la classe moyenne des galeries principales adoptées en général dans la division de Westminster et d'une partie de Middlesex. Ces galeries sont en briques maçonnées au ciment, dans la partie couverte de doubles hachures, et seulement au mortier de chaux hydraulique dans les autres parties.

Fig. 3524. — Égout du quartier de Westminster, à Londres (échelle de 0,01).

Quelques-uns des anciens et des plus importants égouts de Londres ont un profil analogue à celui des vieux égouts de Paris, et atteignent des dimensions énormes. L'égout Fleet, par exemple, qui assainit une surface de 1,798 hectares environ et s'étend de Highgate jusqu'à la Cité, a $3^m,74$ de large sur $3^m,52$ dans la traversée de la Cité, et $5^m,61$ de hauteur, sur $3^m,64$ de largeur, à son embouchure dans la Tamise. Malgré cette grande section, le débouché de cet égout est souvent insuffisant. On estime qu'il reçoit par an 75,457 mètres cubes de matières solides, formant à peu près $\frac{1}{135}$ du volume liquide qu'il verse chaque année dans la Tamise.

Les formes des galeries d'égouts varient en Angleterre d'une ville à l'autre, et laissent beaucoup à désirer dans quelques-unes d'entre elles. A Lancastre, les égouts sont formés d'une large dalle sur laquelle on élève deux murs verticaux, formant pieds-droits, et que l'on recouvre d'une seconde pierre plate. Les canaux principaux ont 0^{m},76 de hauteur, sur 0^{m},42 de largeur. Ils coûtent environ 8 fr. le mètre courant. Les branchements principaux sont rectangulaires et ont 0^{m},42 de côté; ils coûtent 6 fr. le mètre; enfin les conduits qui pénètrent dans les maisons n'ont que 0^{m},15 ou 0^{m},20 de côté et coûtent 2 fr. 70 c. seulement.

Tous ces canaux sont, on le conçoit, tout à fait insuffisants. Il en est de même à Nottingham, à Bristol et dans plusieurs autres villes que l'on pourrait citer.

On n'insistera pas davantage sur le mode de construction des égouts en Angleterre, mais il ne sera pas inutile d'indiquer les moyens adoptés chez nos voisins pour mettre les maisons en communication avec les égouts.

Les canaux anciennement établis pour mettre en communication les maisons avec les égouts laissent en général beaucoup à désirer. Ils sont souvent formés de quelques briques grossièrement assemblées. Les commissaires des égouts de Londres, frappés des inconvénients graves qui résultaient, pour la salubrité publique, d'un état de choses aussi défectueux, ont fait de la question une étude spéciale, il y a quelques années, et sont arrivés à un mode de construction dont on attend de bons résultats.

Tout système complet d'assainissement des maisons particulières, tel que le conçoivent les ingénieurs des égouts de Londres, doit satisfaire à la condition que les canaux de communication puissent entraîner, sans produire ni gêne ni odeur, toutes les matières à rejeter dans les galeries principales d'écoulement. L'eau devant d'ailleurs être le seul instrument de curage, il faut évidemment qu'elle puisse entraîner les matières solides introduites dans les conduites, mais que les entrées de ces conduites soient défendues par des grilles assez

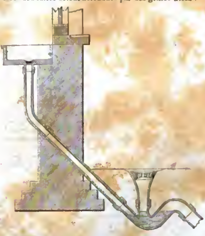


Fig. 3525. — Évier et entrée d'eau branchés sur un siphon en grès verni anglais.

serrées pour s'opposer à l'introduction des corps de nature à produire des obstructions inévitables.

Les commissaires des égouts pensent pouvoir atteindre complétement le but proposé, en établissant les communications avec les égouts au moyen de tuyaux en poterie de très-bonne qualité. Pour assurer le succès complet de ce mode d'assainissement, on évite de faire communiquer directement chaque maison avec l'égout principal, mais on divise chaque quartier en groupes de maisons communiquant chacune avec un *maître tuyau* qui débouche à son tour dans l'égout. De cette façon, ce maître tuyau constamment traversé par un volume d'eau considérable est parfaitement curé, et d'un autre côté, en réduisant le nombre des tuyaux qui débouchent dans l'égout, on diminue les chances de dérangement du système d'assainissement et les causes d'obstruction des galeries principales elles-mêmes.

Les tuyaux en grès verni ont semblé à MM. les membres de la commission des égouts de Londres préférables à tous les autres genres de conduits. Chaque tuyau est terminé à l'une de ses extrémités par un évasement dans lequel s'engage l'extrémité du tuyau précédent. On garnit le joint en bon mortier de ciment. Les coudes, les tuyaux de branchement, etc., sont établis de la même manière.

Les tuyaux en terre dont on vient de parler se raccordent sans difficulté avec la galerie d'égout. A Londres, lorsqu'un particulier veut faire arriver un conduit dans un égout public, il doit en demander l'autorisation aux commissaires. Lorsque cette autorisation est accordée, le demandeur fait ouvrir les tranchées nécessaires et prévient les commissaires de leur achèvement. Ceux-ci envoient un ouvrier spécial chargé d'exécuter, conformément à leurs instructions, le raccordement et une amorce de 3 pieds de longueur pour le conduit projeté. Ce travail s'exécute moyennant un prix fixé d'avance à 13 fr. 25 c. pour l'ouverture du mur de l'égout, la pose de l'embouchure et la reconstruction des parties environnantes. La pente de ces conduits, près de leur arrivée à l'égout, ne doit pas être inférieure à 1/48.

Dans une expérience officielle, il a été constaté qu'on tuyau en grès verni de 0^{m},30 de diamètre et de 170 mètres de longueur a pu donner passage à toutes les matières provenant d'une étendue de 17^{h},77. Un tuyau de grès verni de 0^{m},075 de diamètre suffit à l'écoulement de toutes les déjections de 30 ou 40 maisons de Londres d'importance moyenne.

Pour intercepter la communication entre les égouts et l'intérieur des maisons, on emploie différents dispositifs. L'embouchure du tuyau dans la galerie d'égout est ordinairement garnie d'un clapet en fonte ou en tôle galvanisée. Mais ce mode de fermeture n'est jamais assez parfait pour empêcher les gaz odorants de pénétrer dans les intérieurs; de tous les moyens employés, les *siphons* paraissent encore aujourd'hui le moins défectueux. Le grès verni se prête parfaitement à la fabrication des appareils de cette espèce. Dans l'impossibilité d'entrer ici dans les détails minutieux que comporterait ce sujet, on se bornera à renvoyer à la figure 3525 qui indique les formes d'un siphon en grès isolé adopté à un évier et à une grille placée dans une cour.

Le service des égouts de Londres constitue une administration dont on fera comprendre toute l'importance en rappelant seulement qu'il a été construit dans cette ville de 1833 à 1843, plus de 193,117 mètres de galeries d'égout.

Après ces indications sur le mode de construction des parties essentielles des égouts, il reste à faire connaître les conditions à remplir dans le tracé d'un système général de canalisation souterraine, et à signaler quelques conditions auxquelles on doit satisfaire dans

les ouvrages de cette espèce et dont il n'a pas encore été fait mention.

Chaque voie publique, dans un état de choses normal, doit être pourvue d'une galerie d'égout sur laquelle chaque propriété riveraine puisse greffer directement son égout particulier. Il doit exister des bouches aux points les plus bas des ruisseaux qui entourent chaque îlot de maisons et une borne-fontaine aux points les plus hauts.

Les dimensions données aux égouts pour rendre possible leur visite fréquente par les ouvriers sont plus que suffisantes pour assurer l'écoulement de ceux distribuées dans la ville la plus favorisée. Mais elles ne suffisent plus pour l'écoulement des eaux d'orage dans les égouts collecteurs chargés de l'assainissement d'une surface un peu étendue. M. Belgrand, dans ses projets d'égouts pour Paris, estime qu'il faut donner aux égouts de faibles pentes de 2 à 3 mètres carrés de section par 100 hectares à desservir. Dans les villes, on peut admettre que l'écoulement de l'eau d'un orage dure deux ou trois fois autant que l'orage lui-même, et l'on peut prendre dans le climat de Paris 45 à 50 millimètres d'eau tombée par heure pour l'orage maximum moyen.

Le tracé des égouts dans une grande ville comme Paris et l'utilisation des travaux antérieurs exécutés sans aucune vue d'ensemble, est un des problèmes les plus compliqués que puisse présenter ce genre de construction. Le projet dont les ingénieurs du service municipal poursuivent aujourd'hui l'exécution est des plus remarquables, et peut donner pour l'avenir satisfaction à tous les intérêts. Sans entrer ici dans de minutieux détails de tracé, il suffira de dire que l'on a voulu débarrasser la Seine, dans la traversée de Paris, des immondices que les égouts y versent encore, et en même temps abaisser assez le niveau du débouché du collecteur général, pour que les crues ordinaires du fleuve ne puissent plus suspendre le fonctionnement des galeries des quartiers bas, comme elles le font aujourd'hui.

A cet effet, l'égout de Rivoli, dont on a parlé, a été disposé comme égout de ceinture pour recevoir presque tous les égouts de la rive droite. Il se déverse à son tour, ainsi que toutes les autres eaux qu'il n'a pu recueillir, dans un immense égout souterrain qui débouche à Asnières, après le long circuit que fait la Seine en sortant de Paris.

Les égouts de la rive gauche doivent aussi se réunir, d'après les projets, dans un égout de ceinture qui franchira la Seine, par un siphon renversé, pour aller également rejoindre l'égout d'Asnières.

L'égout d'Asnières est le plus grand ouvrage de ce genre qui existe. Il a 5m,6 de largeur et 4m,40 de hauteur.

Les eaux d'orage, à l'aide de déversoirs et de galeries, s'écouleront encore à la Seine lorsqu'elles atteindront dans les égouts une certaine hauteur.

Aux termes du décret du 26 mars 1852 : « Toute « construction nouvelle dans une rue pourvue d'égout « doit être disposée de manière à y conduire les eaux « pluviales et ménagères. » Le même disposition est applicable à toute maison ancienne, en cas de grosses réparations, et, en tout cas, dans un délai qui expirera en 1862.

Ce décret assure l'assainissement de Paris le jour où il aura reçu une application générale. Il donne à l'administration, par simples mesures réglementaires, le moyen de réaliser complétement les améliorations les plus utiles. Les galeries de communication dont il s'agit, que l'on établit maintenant et dont il a déjà été construit 13 ou 1,400, à Paris, ont 2m,30 de hauteur et 1m,30 de largeur.

L'entrée de ces galeries porte dans l'égout le même numéro que celui de la maison dans la rue correspondante ; elle est fermée par une grille en fer à deux clefs dissemblables, dont l'une restera entre les mains des agents de l'administration, et l'autre entre celles du propriétaire, pour que la porte ne puisse s'ouvrir que d'un commun accord.

Quel que soit le parti que l'on adoptera pour le régime des fosses d'aisances, la vidange pourra se faire souterrainement, et la ville se trouvera affranchie des opérations qui rendent aujourd'hui véritablement odieux le parcours des rues de Paris pendant la nuit.

Le système des vidanges des villes est donc intimement lié à celui des égouts, et nous devons dire quelques mots des divers systèmes proposés à cet égard. En supposant que l'on conserve le système actuel des fosses, on vient de voir que la vidange pourra s'en faire avec beaucoup moins d'inconvénient qu'aujourd'hui. Mais le système des fosses est condamné par tout le monde. En ce moment l'administration municipale de Paris paraît disposée à admettre un système de fosses séparant les produits solides des produits liquides, et jetant ceux-ci ou directement dans l'égout, ou dans des conduits spéciaux, qui ont même été ménagés dans quelques égouts, pour les recueillir séparément et les utiliser ensuite en agriculture. Cette dernière solution nous paraît excellente. Quant au coulage des liquides à l'égout, nous le regardons comme détestable, on infectera l'égout, la Seine, et on perdra une valeur considérable. Les matières employées pour désinfecter les liquides des fosses et fixer leurs principes fertilisants, sont loin de donner les résultats qu'on en attend, et seront, toujours, en pratique, d'un emploi difficile et fort incertain.

Il nous reste à examiner quelle est la valeur comme engrais agricole des produits des égouts et des vidanges dont nous demandons que l'on assure la facile utilisation en agriculture.

Les nombreux auteurs français et étrangers qui ont écrit sur l'utilisation comme engrais des déjections des grandes villes, sont bien loin de s'accorder sur la valeur agricole de ces produits. Leurs calculs reposent en général sur des appréciations extrêmement vagues, ou sur des données physiologiques résultant d'observations individuelles, qu'il serait impossible d'appliquer sans erreur grossière aux grands centres de population.

Il m'a semblé que le premier élément de tout projet sérieux d'assainissement des villes devait être la connaissance des produits recueillis d'une manière pratique, et pouvant être mis réellement à la disposition de l'agriculture. C'est le but d'une série d'analyses exécutées en 1854 au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, et dont je vais indiquer les principaux résultats.

Au lieu d'obtenir le résultat cherché, ainsi qu'on l'avait fait jusqu'à présent, en multipliant, par la population de Paris, le chiffre obtenu par des observations faites sur quelques individus seulement, j'ai fait porter les analyses sur le produit moyen de la ville entière. C'est en divisant les totaux ainsi obtenus par le nombre des habitants que l'on peut arriver à une moyenne applicable avec exactitude aux grandes villes placées dans des conditions analogues à celles de Paris.

Les produits de la voirie d'une grande ville sont : 1° les boues et immondices recueillies sur la voie publique ; 2° les matières extraites des fosses d'aisances ; 3° les eaux d'égout.

La première classe de produits est utilisée depuis longtemps par les cultivateurs des environs de Paris et de toutes les villes de quelque importance. Leur valeur et leur emploi sont parfaitement connus. Éminemment encombrants, ces produits, dont la ville doit à tout prix se débarrasser chaque matin, ne sauraient être transportés à de grandes distances. Ils sont forcément consommés dans une zone fort étroite, où ils font

concurrence, par leur bas prix, à tous les autres engrais que l'on essayerait de leur substituer. Le perfectionnement des procédés d'assainissement de Paris aura d'ailleurs pour effet naturel de diminuer, au profit des deux autres natures de produits, la masse et la richesse comme engrais de ces matières. Aussi n'a-t-il pas semblé nécessaire d'étudier ici cette première classe de matières fertilisantes. On se bornera à l'examen des deux autres classes de produits.

L'analyse de tous les échantillons examinés a été conduite de la même manière. On introduisait dans un ballon de verre pesé avec une balance à analyse, un litre ou un demi-litre du produit; ce ballon était placé dans un bain-marie d'eau salée bouillant à 108°. Un bouchon adapté au col du ballon et garni de tubes de verre convenablement disposés, permettait de recueillir les produits de la distillation dans un volume connu d'acide sulfurique titré, et de faire passer un courant d'air sec sur le résidu solide pour en compléter la dessiccation. Lorsque le poids du ballon ne variait plus, on le pesait avec soin, et en retranchant du poids obtenu celui du ballon vide, on obtenait le poids du résidu solide séché à 108° contenu dans le volume liquide sur lequel on avait opéré. L'ammoniaque recueillie dans l'acide sulfurique titré était dosée avec les précautions ordinaires, après avoir chassé l'acide carbonique et l'acide sulfhydrique condensés dans le liquide.

On brisait ensuite le ballon pour détacher le produit solide et déterminer la proportion d'azote qu'il renfermait. Cette détermination a toujours été faite par la chaux sodée et par l'oxyde de cuivre. Les deux méthodes ont constamment donné des chiffres très-rapprochés, dont les différences n'ont point paru excéder les limites que comportent des recherches exécutées sur des produits aussi complexes et aussi peu homogènes.

Les opérations n'ont point porté sur les produits d'une ou de plusieurs fosses, prises isolément, qui auraient plus ou moins différé de la moyenne, mais sur le mélange de tous ces produits tel qu'il sort de la conduite en fonte établie entre le dépotoir de la Villette et les bassins de la voirie de Bondy. La composition de ces mélanges varie sans doute un peu d'un jour à l'autre, et, pour arriver à une exactitude mathématique, il aurait fallu pouvoir multiplier les essais beaucoup plus que les circonstances ne permettaient de le faire. Cependant les précautions prises dans les expériences dont il s'agit permettent d'assurer que les chiffres obtenus sont très-voisins de la vérité, et qu'ils offrent un degré d'exactitude parfaitement suffisant pour les besoins de la pratique.

Il serait inutile de reproduire ici les détails des différentes analyses; il suffira de dire que les liquides troubles chassés dans la conduite de Bondy renferment en moyenne par litre :

1° *Azote combiné :*

	Grammes.	
Azote de l'ammoniaque extrait par distillation.	3,0694	
Azote du produit solide.	0,9470	0,9470
Azote total.	4,0164	

2° *Matières organiques, non compris l'azote :*

Carbone	9,5723	
Hydrogène.	1,5895	
Oxygène.	3,4580	14,6198

3° *Matières minérales :*

Acide sulfurique.	0,6164	
Acide chlorhydrique.	2,4471	
Acide phosphorique.	1,2242	
A reporter.		15,5668
Report.		15,5668
Soude et potasse	2,0844	
Chaux.	1,0431	
Magnésie.	0,0782	
Alumine et peroxyde de fer . . .	1,0934	
Silice et argile insolubles dans les acides.	1,5967	
Acide carbonique et matières non dosées.	1,3771	11,5540
Total du résidu solide par litre. . .		27,1208

Il est maintenant facile d'évaluer la masse totale des matières fertilisantes des produits des vidanges de Paris.

On admettra, pour fixer les idées, que le produit de la voirie de Paris s'élève maintenant, par an, à 354,000 mètres cubes de substances d'une composition moyenne analogue à celle des matières soumises à l'analyse.

Cela posé, il suffira de multiplier par 354,000,000 les différents chiffres donnés dans l'analyse ci-dessus, pour reconnaître que le produit annuel des vidanges de Paris, pour une population d'un million d'habitants environ, renferme :

Azote combiné :

	Kilog.	Kilog.
Azote de l'ammoniaque des liquides	1,086,567.60	1,421,805.60
Azote des produits solides	335,238,00	

Matière organique non compris l'azote :

Carbone	3,388,488.00	5,175,126.00
Hydrogène	562,506.00	
Oxygène.	1,224,132.00	

Produits minéraux :

Acide sulfurique	218,099.40	4,090,116.00
Acide chlorhydrique . .	866,273.40	
Acide phosphorique. . .	432,304.80	
Soude et potasse	736,815.60	
Autres produits minéraux.	1,836,622.80	
Total général.		10,687,047.60

ou plus simplement :

Azote de l'ammoniaque. . .	1,086,567	1,421,805
Azote des matières solides.	335,238	
Matières organiques, non compris l'azote	5,175,126	
Matières minérales	4,090,116	

Les chiffres précédents permettent de calculer, par une simple proportion, la composition du produit des vidanges dans presque toutes les villes de France, qui, sous le rapport de ce service, sont à peu près dans les mêmes conditions que Paris.

La quantité d'azote des vidanges de Paris est égale à celle que contiendraient 355,451,250 kilogrammes de fumier normal (dosant 0.4 pour 100 d'azote). En admettant que la fumure annuelle d'un hectare soit de 20,000 kilogrammes de fumier, on trouverait que la quantité d'azote des vidanges suffirait pour fumer 17,772 hectares par an. Mais on sait que les engrais de cette nature sont beaucoup plus actifs que le fumier ordinaire et qu'ils renferment beaucoup plus de sels minéraux utiles. Pour établir une comparaison plus rigoureuse, il convient de s'adresser à la pratique des cultivateurs des environs de Lille, qui emploient les engrais dont il s'agit. Or, chez les meilleurs fermiers de ce pays, on emploie environ, pour une forte fumure, 18 mètres cubes d'engrais flamand contenant 48k.6 d'azote, d'après les analyses faites en même temps que celles qui font l'objet de cet article. D'après cela, les

produits des fosses de Paris pourraient servir à la fumure de 29,250 hectares par an, soit en nombre rond de 30,000 hectares. La valeur réelle de ces produits est donc de 1,500,000 francs à 2 millions.

On sait d'ailleurs que cet engrais ne saurait être exclusivement employé, que son action doit être nécessairement alternée avec celle des engrais plus riches en carbone et moins riches en sels minéraux. Si l'on voulait employer en agriculture la totalité des vidanges de Paris, il faudrait les mettre à la disposition d'une étendue de sol arable au moins *triple* de celle qu'elles pourraient féconder annuellement, soit en nombre rond de 90,000 à 100,000 hectares.

Quand on cherche à se rendre compte du prix de transport de ces matières dans des vases hermétiquement clos, soit par chemins de fer, soit par voies navigables, on reconnaît bien vite qu'elles ont trop peu de valeur pour supporter des frais de transports aussi longs que ceux qui seraient nécessaires pour dépasser la zone où s'emploient les boues de ville, et atteindre les pays situés plus loin, qui pourraient seuls les utiliser avec économie.

Pour effectuer ces transports si utiles à l'assainissement de la ville et à l'agriculture, on ne peut donc recourir qu'à l'emploi de tuyaux de conduites et de pompes foulantes à vapeur, comme l'a fait pour la première fois et avec tant de succès M. l'inspecteur général Mary pour l'établissement du dépotoir. Dans ces conditions, les transports peuvent s'effectuer à des prix tout à fait en rapport avec la valeur des produits dont il s'agit.

On pourrait craindre que dans les premières années l'emploi de ces engrais ne fût pas accepté avec assez d'empressement dans les campagnes et qu'il n'en résultât quelques mécomptes. Mais l'exemple des avantages obtenus convertirait promptement les incrédules, et d'ailleurs il suffirait, comme l'a indiqué M. Boussingault, d'autoriser la culture du tabac, plante si avide de ces engrais, dans les départements traversés par le conduite, pour assurer la consommation rapide de tous les liquides qui seraient envoyés.

Les renseignements si précis et si intéressants donnés par M. Husson dans son ouvrage sur les *Consommations de la ville de Paris*, m'ont fourni récemment une vérification indirecte de ces résultats analytiques déjà anciens.

J'ai calculé la quantité d'azote et de matières minérales contenue dans la quantité de chaque aliment consommé annuellement à Paris, et j'ai pu ainsi comparer le poids de ces matières entrées à Paris, d'après les chiffres de M. Husson (page 140), à ceux des mêmes matières sorties, déduits de mes analyses. Sans reproduire ces longs tableaux de chiffres qui occuperaient trois ou quatre pages, je me bornerai aux observations suivantes :

On retrouve dans les vidanges transportées à Bondy de la moitié aux deux tiers seulement des sels minéraux introduits par les aliments consommés. Pour l'azote, la perte est plus considérable encore. La vidange ne renferme pas plus du tiers de la quantité de ce corps introduit par les aliments.

Ces résultats s'expliquent facilement et confirment les chiffres de l'analyse.

Une partie des fosses de Paris, malgré les règlements de police, ne sont point étanches ; dans beaucoup de quartiers, certaines fosses n'ont jamais été vidées. D'un autre côté, une grande partie des urines sont répandues sur la voie publique ; on comprend donc qu'une très-notable partie des produits qui devraient être recueillis à Bondy se perdent de différentes manières. Quant à la déperdition d'azote, beaucoup plus forte relativement que celle des autres produits, elle s'explique trop facilement par les exhalaisons infectes que l'on observe dans les rues et les maisons de Paris.

Les chiffres qui précèdent ne justifient que trop les plaintes générales que soulève le système vicieux qui régit les fosses et les vidanges de la capitale. Plus de 3 millions et demi de kilogrammes d'azote sont perdus chaque année à Paris pour l'agriculture, et sur ce chiffre 2 millions de kilogrammes au moins sont entraînés à l'état de miasmes infects, qui corrompent l'atmosphère, et concourent pour une large part à l'insalubrité de la ville, dont l'air se rapproche ainsi, par sa composition, de celui de la surface d'un immense tas de fumier.

La composition des eaux des égouts, dont on va parler, est beaucoup plus variable d'un jour à l'autre et d'un point à l'autre que celle des produits de la voirie. Pour arriver à une évaluation à peu près exacte de la valeur de ces liquides, il faudrait en faire puiser, d'heure en heure, dans les divers égouts de Paris, faire un mélange de ces différents échantillons, en quantités proportionnelles au débit correspondant, et analyser les mélanges ainsi formés chaque jour pendant une assez longue période de temps. On ne pourrait entreprendre une pareille étude sans le concours actif de l'administration municipale. Dès lors, j'ai dû réduire mes analyses au petit nombre d'échantillons que je pouvais obtenir, sans abuser de l'obligeance de MM. les ingénieurs du service des égouts. Du reste, ces échantillons ont été recueillis dans des conditions se rapprochant autant que possible de la moyenne, de sorte que les chiffres obtenus, qui concordent assez bien avec ceux résultant d'un autre ordre de considérations, ne doivent pas s'éloigner beaucoup de la réalité.

Voici quelques-uns des résultats obtenus.

1. *Eau du grand égout.* — Cette eau a laissé par litre 9g,187 de résidu solide, contenant :

	Grammes.
Azote.	0,137
Matières organiques, non compris l'azote.	2,849
Cendres.	6,201
Total.	9,187

Pendant la distillation, il se dégage une quantité d'ammoniaque répondant à 0g,03115 d'azote.

Cette eau renferme donc par litre 0g,168 d'azote combiné.

Il n'a pas semblé utile de pousser plus loin l'analyse du résidu solide, trop peu homogène pour fournir un renseignement intéressant.

2. *Eau de l'égout de Rivoli.* — Cette eau a laissé par litre 2g,138 de résidu solide, contenant :

	Grammes.
Azote.	0,00213
Matières organiques, non compris l'azote.	0,62987
Cendres.	1,50600
Total.	2,13800

Pendant la distillation, il se dégage une quantité d'ammoniaque répondant à 0g,04367 d'azote.

Cette eau renferme donc par litre 0g,0458 d'azote combiné.

Un autre échantillon d'eau puisée deux ans plus tard dans le même égout contenait par litre :

	Grammes.
Matières dissoutes	1,242
Matières solides en suspension	0,484
Total.	1,726

Ce résidu solide renfermait 0g,0193 d'azote. Pendant la distillation, il se dégage une quantité d'ammoniaque répondant à 0g,0389 d'azote, de sorte que ce

liquide renfermait par litre 0g,0582 d'azote combiné.

On voit que l'eau de l'égout de Rivoli est beaucoup moins riche que celle du grand égout. Mais la différence est due surtout aux produits solides. L'ammoniaque dégagée pendant la distillation des trois liquides répond en effet à des proportions d'azote assez peu différentes les unes des autres, savoir :

0g,0311 : 0,0436 ; 0g,0389.

La composition des liquides de l'égout de Rivoli se rapproche beaucoup plus de ce qui aura lieu plus tard dans tous les égouts de Paris que l'échantillon ci-dessus de l'eau du grand égout. Dans les recherches qui nous occupent, il convient d'ailleurs de s'attacher plutôt aux minima qu'aux maxima. Dans les calculs qui vont suivre, nous n'adopterons donc pas, pour la composition des eaux d'égout, la moyenne, les résultats fournis par les trois échantillons dont on vient de parler, qui donnerait 0g,09 d'azote combiné par litre de liquide trouble. Nous écarterons également le premier échantillon de l'égout de Rivoli, évidemment trop peu chargé par suite du petit nombre de maisons qui y versaient à l'époque de la prise. A défaut de renseignements plus complets, nous adopterons, pour la richesse en azote des eaux d'égout de Paris, le chiffre de 0g,0582 par litre. Cette donnée est très-probablement au-dessous de la vérité, et nous ne risquons pas d'exagérer en l'adoptant.

Quant au poids des matières dissoutes ou en suspension, on peut l'évaluer en moyenne à 2 grammes par litre à peu près.

Pour évaluer la quantité de matières fertilisantes entraînées et perdues par les eaux d'égout, il faudrait connaître leur volume et leur composition moyenne. Il existe sur ces deux points une très-grande incertitude. Je n'ai adopté que sous toute réserve les chiffres ci-dessus. Quant au volume débité, ou plutôt au volume d'un liquide au même degré de concentration que celui qui a servi à l'essai, on peut, je crois, l'évaluer par an à 21,900,000 mètres cubes environ.

D'après ces hypothèses, les eaux des égouts de Paris contiendraient :

		Kilog.
Azote de l'ammoniaque.	851,910	1,272,390
Azote des matières solides. . . .	420,480	
Matières organiques non compris l'azote.		12,899,100
Matières minérales.		30,879,000
Total.		45,050,490

Ces derniers nombres doivent être plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité. Dans des recherches de cette nature, si on commet des erreurs, il convient qu'elles soient dans ce sens, puisqu'il faut toujours être bien certain de ne pas attribuer aux produits que l'on examine une valeur supérieure à celle qui répond à leur richesse réelle. Cependant ils me laissaient, je le répète, beaucoup d'incertitude, et j'ai dû chercher à les contrôler.

L'ouvrage déjà cité de M. Husson sur les consommations de Paris m'a encore donné une vérification remarquable de ce travail analytique déjà ancien.

Les matières perdues par les égouts se composent principalement des déjections des animaux, des eaux ménagères et des urines répandues sur la voie publique. On ne parle pas des produits des fosses coulées aux égouts ; ces matières sont comptées parmi les produits de la voirie, et n'ont pas influé sur les analyses d'eaux puisées pendant le jour.

Il est impossible de baser sur des données tant soit peu précises l'estimation de la valeur comme engrais des eaux ménagères. Quant aux chevaux qui circulent dans les rues, le compte peut en être fait avec exactitude. D'après M. Husson (page 71), il circule tous les jours à Paris 46,000 chevaux, dont 22,400 sont logés dans l'intérieur de la ville ; les autres passent la nuit dans la banlieue. Or, un cheval fournit par jour environ 100 grammes d'azote combiné à l'état de matières fertilisantes. L'azote des engrais versés aux égouts par cette voie seulement peut donc se calculer de la manière suivante :

		Kilog.
22,400 chev. logés à Paris.	0k.100×365×22,400	=817,600
23,600 chev. logés dans la banlieue et ne passant à Paris que la moitié du temps, environ. .	0k.050×365×23,600	=430,700
Azote total.		1,248,300

En ajoutant à ce chiffre celui des chevaux qui apportent à Paris une partie des denrées, les matériaux de construction, etc., qui ne sont pas compris dans les chiffres précédents, les produits des autres animaux domestiques, et enfin les produits des eaux ménagères et celui des urinoirs publics, on reconnaîtra que le chiffre de la richesse en azote des eaux d'égout déduit de l'évaluation de leur volume et des analyses, est inférieur à celui résultant des données synthétiques qui précèdent, et d'ailleurs parfaitement en rapport avec elles. On peut donc l'adopter comme suffisamment exact pour les recherches qui nous occupent.

En résumé, les eaux d'égout entraînent chaque année à la Seine au moins 1,200,000 kilogrammes d'azote. Mais leur énorme volume et leur état de dilution ne permettraient pas de les utiliser en totalité, avec économie et d'une manière directe en agriculture. Le meilleur moyen de les employer serait d'en consacrer une partie à des arrosages de prairies, comme on le fait à Édimbourg, à Milan, etc., et d'extraire de la partie non utilisée de cette façon les éléments fertilisants, par une application convenable des méthodes de précipitation par la chaux, appliquées pour la première fois par M. Wicksteed, à Leicester. Voici en quoi consiste cette opération.

Le volume des eaux des égouts de toute la ville de Leicester, qui compte 65,000 âmes, s'élève environ, par an, à 5 millions de mètres cubes, d'où l'on extrait à peu près 4,500,000 kilogrammes de matières fertilisantes à l'état solide.

L'établissement où s'opère la manipulation de cette masse énorme de produits est situé sur le bord de la rivière Soar, à une petite distance au-dessous de la ville. Il est impossible, quoique prévenu que l'on puisse être, d'y constater l'odeur la plus légère. La plus exacte propreté règne dans toutes les parties de l'usine ; les machines à vapeur, et quelques ouvriers pour les diriger, effectuent tous les travaux avec une précision dont il est impossible de donner l'idée.

L'eau des égouts est amenée, par une conduite souterraine, dans un vaste puits creusé sous l'établissement, à une profondeur assez grande, déterminée par la nécessité de donner aux égouts, et à la conduite d'amenée, une pente suffisante dans l'intérieur de la ville.

Une machine à vapeur, système de Cornouailles, de 20 chevaux, fait manœuvrer une pompe, qui élève cette eau pour l'amener au niveau du sol. Une autre petite pompe, mise en mouvement par la même machine, communique avec une citerne munie d'un agitateur et que l'on entretient constamment remplie de lait de chaux. A chaque coup de piston de la machine, cette petite pompe introduit dans le tuyau de conduite des eaux élevées par la grosse pompe une certaine quantité de lait de chaux, dont la proportion est réglée à l'aide de robinets, suivant la nature des eaux et le degré de concentration du lait de chaux.

L'eau d'égout, ainsi mélangée de lait de chaux, arrive dans une caisse étroite et longue, dans laquelle tournent des agitateurs à palettes à axes verticaux; le mélange intime des matières s'effectue dans cette caisse, et le liquide s'écoule lentement, à travers des ouvertures horizontales, dans un réservoir en maçonnerie de ciment, ayant environ 60 mètres de longueur, 13m,50 de largeur et 1m,50 de profondeur. Ce réservoir est partagé en deux parties par une série de châssis verticaux en toile métallique placés à 18 mètres environ de l'origine, et que l'on peut mettre et ôter à volonté. Ces toiles métalliques portent 7 à 8 fils par centimètre : elles sont destinées à retenir les corps flottants légers, et à régulariser le mouvement de l'eau dans le réservoir. A l'aval du réservoir sont établies de petites vannes, par lesquelles le liquide purifié s'écoule dans la rivière par déversement, et en lames minces horizontales.

Le fond du réservoir, depuis les toiles métalliques jusqu'aux vannes de décharge, présente une légère contre-pente; au contraire, dans le premier tiers du réservoir, le fond présente deux pentes vers le milieu, réunies par une rigole profonde à fond demi-cylindrique. La vitesse de l'eau dans ce réservoir est de 7 à 8 millimètres par seconde; le produit floconneux formé par la chaux s'y dépose comme dans une eau tranquille.

Une vis d'Archimède placée dans l'espèce de gouttière ménagée au fond du réservoir, ramène lentement le dépôt boueux dans un puisard, situé derrière.

La précipitation et l'enlèvement des matières solides précipitées s'effectue ainsi d'une manière continue dans un seul réservoir qui reçoit, à l'une de ses extrémités, l'eau d'égout et toutes ses impuretés, et verse dans la rivière, à son autre extrémité, un liquide clair, inodore et sans saveur.

Le dépôt boueux ramené par la vis sans fin, à l'état de boue liquide dans le puisard situé derrière le réservoir, est repris par une chaîne à godets et élevé dans un petit réservoir à quelques mètres au-dessus du sol. Des tuyaux conduisent cette boue liquide dans des machines à essorer à force centrifuge, qui la réduisent à l'état de pâte de consistance de terre à briques.

Il y a, à Leicester, douze toupies de séchage constamment en action. La toile métallique qui les garnit porte 20 à 24 fils par centimètre. Les machines font 1,000 tours par minute. Chacune d'elles reçoit environ 160 kilogrammes de matière demi-fluide. On fait tourner l'appareil pendant 10 à 15 minutes. La substance perd environ les deux tiers de son poids d'eau; on l'extrait de l'essoreuse, et on la porte aux ouvriers briquetiers qui peuvent le mouler, soit immédiatement, soit après une courte exposition à l'air.

En résumé, l'eau d'égout mélangée de chaux est introduite dans un réservoir où se fait le dépôt du précipité formé. Ce dépôt à l'état de boue liquide, continuellement extrait par le mouvement de la vis d'Archimède, est soumis à l'action de machines à dessécher à force centrifuge et transformé en pâte assez ferme pour être immédiatement moulée en briques, dont la dessiccation s'opère à l'air libre sans aucune difficulté.

L'application du système de M. Wickstead et la construction d'un système complet d'égouts qui en a été la conséquence, a été pour la salubrité de la ville de Leicester un bienfait inappréciable : la mortalité s'élevait, depuis plusieurs années, de 420 à 450 décès par trimestre; depuis l'établissement des travaux, en mai 1855, le nombre des décès est tombé à 340 et même à 324 par trimestre.

Le produit solide ainsi obtenu renferme :

	PRODUIT à l'état naturel.	PRODUIT supposé sec.
Eau perdue à 110°	12,00	»
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique faible	13,25	15,05
Alumine, phosphate et peroxyde de fer	8,25	9,37
Chaux	45,75	51,97
Magnésie faible : traces	»	»
Azote, non compris celui des sels ammoniacaux . . . . . 0,558000 / Azotate des sels ammoniacaux 0,544666	1,10	1,25
Produits volatils au rouge, non compris l'azote, acide carbonique et autres matières non dosées	19,63	23,36
	100,00	100,00

Pour savoir si les eaux d'égouts de Paris se comporteraient avec la chaux comme celles de Leicester, j'ai fait prendre de l'eau dans l'égout de la rue de Rivoli. Elle contenait par litre :

Matières dissoutes	1g,242
Matières solides en suspension	0g,484
Total	1g,726

L'ammoniaque libre de l'eau d'égout dans son état naturel a été dosée en recueillant avec les précautions ordinaires, dans de l'acide sulfurique titré, le produit de la distillation. L'azote du produit de l'évaporation à sec du liquide a été dosé par les procédés ordinaires. On a trouvé ainsi que 1 litre de l'eau examinée renferme :

Azote de l'ammoniaque libre	0,0389
Azote du produit solide	0,0192
	0,0581

Telle est la constitution, au point de vue dont il s'agit, du liquide de l'égout de Rivoli, sur lequel ont été faites les expériences que l'on va rapporter.

On a versé un litre d'eau d'égout dans un certain nombre de flacons d'une capacité de 1 litre et demi environ. On a ajouté à ces liquides troubles des quantités variables de chaux pesée, parfaitement sèche, puis éteinte dans un peu d'eau distillée. La précipitation s'est faite de la manière la plus rapide et la plus satisfaisante, et en présentant le même aspect que celui des liquides de Leicester dans les mélanges renfermant 0g,4 et 0g,5 de chaux pure par litre d'eau d'égout. Ces deux liquides renfermaient la même proportion d'ammoniaque libre, savoir 0g,037 par litre.

Le résidu de l'évaporation de la liqueur clarifiée à l'aide de 0g,4 de chaux pesait 0g,991 par litre, et celui de la liqueur clarifiée avec 0g,5 de chaux pesait 0g,962; ce dernier avait été un peu trop chauffé, de sorte que les poids de ces résidus peuvent être regardés comme très-voisins : le poids de la matière restée en dissolution après l'action de la chaux était de 0g,978.

Le liquide employé renfermait, comme on l'a vu, 1g,726 de matières solides par litre, dont 1g,242 en dissolution. La chaux a donc déterminé la précipitation rapide de 0g,748 par litre de matières solides formées de :

Produits solides en suspension	0g,484
Produits solides dissous	0g,264
Total égal	0g,748

Ainsi, la chaux détermine la précipitation de près du quart des matières dissoutes. L'eau, après la préci-

pitation, était d'ailleurs parfaitement limpide, incolore et inodore. Le résidu de l'évaporation du liquide précipité par la chaux, puis filtré, contenait 0g,837 p. 100 d'azote, ce qui répond à 0g,00818586 d'azote par litre de liquide clarifié.

Le précipité formé sur la chaux, recueilli sur un filtre, puis séché au soleil, contenait pour 100 :

	PRODUIT.	
	séché au soleil.	supposé sec.
Eau perdue à 110 degrés.	2,20	»
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique faible.	8,25	8,43
Alumine, phosphate et peroxyde de fer.	7,25	7,41
Chaux	33,75	34,51
Magnésie : traces.	»	»
Azote non compris celui des sels ammoniacaux . . . . . . 0,837 } Azote des sels ammoniacaux. . . . . 0,336 }	1,17	1,20
Produits volatils au rouge, non compris l'azote, acide carbonique et autres matières non dosées. . .	47,38	48,45
	100,00	100,00

Or, on obtient par litre, y compris les 0g,4 de chaux et l'acide carbonique absorbé par une partie de cette base, 1g.52 environ de ce précipité. Ce qui donne 0g,01824 d'azote par litre d'eau clarifiée.

En réunissant les nombres précédents, on voit que l'azote renfermé dans un litre d'eau d'égout, après la clarification par la chaux, se répartit de la manière suivante :

Azote des matières solides restées en dissolution.	0,0082
Azote de l'ammoniaque libre dans le liquide clarifié	0,0306
Azote du précipité produit par la chaux. . . .	0,0182
Total.	0,0570

chiffre aussi rapproché que le comportent des recherches de cette nature, de la quantité totale d'azote, 0g,058, trouvé dans un litre d'eau naturelle.

Ainsi, la chaux précipite près de 30 pour 100 de l'azote contenu dans les eaux d'égouts. Mais elle ne paraît pas agir sensiblement sur l'ammoniaque libre que renferment ces eaux.

On conçoit que d'importantes améliorations pourraient être réalisées à cet égard. Il est très-probable que l'addition d'un peu de phosphate acide de chaux et d'une chaux magnésienne permettrait de recueillir beaucoup plus d'azote.

Le produit dont on vient de parler serait très-bon pour faire des nitrières artificielles. HERVÉ MANGON.

ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES (MOTEURS). — Voy. ÉQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ.

ÉMAILLAGE. Les recherches exposées dans cet article remontent à plusieurs années ; elles ont été motivées par la création d'un atelier d'émaillage à la manufacture de porcelaine de Sèvres. Lorsqu'en 1846, à la veille de l'exposition des manufactures nationales, on fut obligé, pour produire, d'avoir recours à l'industrie privée qui préparait les matériaux nécessaires à ce genre de décoration, une longue série d'études toutes nouvelles me fut demandée dans le but d'ajouter à mon service la fabrication des émaux ; c'est le résultat de ces essais qui va trouver place ici.

L'émaillage, ou l'art de recouvrir les métaux de couleurs ou de peintures rendues brillantes et inaltérables par l'action de la chaleur, qui les fait adhérer, procède par diverses méthodes conduisant à des effets variés, par suite de l'emploi de matières variées aussi, d'usage et de composition différentes.

Tantôt, le métal est simplement recouvert d'une couche d'un cristal transparent, incolore ou coloré, au travers duquel le métal apparaît soit avec son éclat et sa couleur propre, soit avec des tons modifiés par la couleur de la couche superposée.

Tantôt, le métal disparaît complétement sous une couche d'un cristal opaque, blanc ou coloré.

Souvent on applique par places sur le métal déjà recouvert d'un émail opaque, une feuille ou des ornements en métal éclatant, qu'on recouvre à leur tour de cristal transparent, incolore ou coloré, de manière à obtenir, sur une même pièce, des effets mixtes produits par les deux modes distincts de décoration que je viens d'indiquer.

Tantôt, sur un fond blanc opaque qui peut faire partie d'une pièce décorée par l'un ou l'autre, quelquefois par les deux procédés qui précèdent, on applique des peintures dont on rend le glacé complet en les recouvrant d'une couche d'un cristal transparent et d'une composition particulière, auquel on donne le nom de fondant : ce genre de peinture s'appelle *peinture sous fondant*.

Tantôt enfin, on applique sur un fond blanc d'une nature spéciale qu'on nomme *pâte*, des peintures souvent très-fines, exécutées avec une palette spéciale dont les couleurs glacent suffisamment par elles-mêmes pour qu'on n'ait plus besoin d'avoir recours à la superposition du fondant : on nomme ces peintures *peintures sur pâte*.

On comprend que toutes les matières employées pour obtenir les effets que je viens d'énumérer soient variées, les unes plus, les autres moins fusibles.

Nous aurons à les étudier dans deux groupes distincts. La composition des matières teintes dans la masse trouvera sa place dans une première partie. Nous réserverons pour une seconde la composition des couleurs proprement dites dont on fait usage pour peindre sur pâte ou sous fondant.

L'étude des fondants colorés, ou non opaques ou transparents, qui s'appliquent pour obtenir l'émaillage du cuivre, de l'or, de l'argent, se présentera naturellement à côté de celle des mêmes matériaux employables sur fer et sur fonte, et nous insisterons sur ces derniers en raison de la nouveauté des produits qu'on peut obtenir.

Je réunirai dans une troisième partie ce qu'il est permis de regarder comme descriptif, je veux parler des procédés mécaniques usités dans l'art de l'émailleur pour mener à bonne fin une pièce commencée. C'est dans cette partie que nous chercherons à rendre compte de certaines précautions que la pratique seule a pu conseiller et que l'usage a consacrées. Cette étude est le complément nécessaire des notions chimiques que nous aurons développées dans les deux parties précédentes, mais il nous a paru nécessaire, afin de fixer les idées, de placer en tête de cet article, sous le titre de *Notions préliminaires*, une définition nette et précise des termes que nous aurons à choisir, de leur valeur et de leur portée.

Nous commencerons donc par donner en quelques mots l'explication des mots dont nous ferons usage.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

On entend généralement par émail, un cristal plus ou moins fusible, généralement plombeux, car ce n'est pas une nécessité, opaque, souvent blanc, quelquefois coloré.

Cependant, on a étendu ce nom à toute espèce de matière vitreuse, transparente ou opaque applicable sur métaux ; on a même confondu sous cette même dé-

nomination les couleurs dont on se sert pour décorer les poteries les plus parfaites comme les porcelaines, et certaines poteries grossières comme les faïences communes. C'est encore de ce nom qu'on appelle les substances vitreuses, opaques ou transparentes qui servent de glaçures aux poteries que nous venons de citer. Enfin, on a été jusqu'à l'appliquer à toute pièce métallique recouverte d'émaux.

Il est résulté de ces extensions successives données à la signification primitive du mot émail, qu'il n'a plus de sens précis dans le langage technologique.

Pour nous, nous réserverons d'une manière exclusive le mot émail à toute matière vitreuse plus ou moins fusible, blanche ou colorée par des matières colorantes maintenues en dissolution dans la masse.

Par opposition au mot émail, je nommerai *parémail* (de *para*, contre) toute substance vitrifiable plus ou moins fusible, chimiquement non homogène, formée d'un mélange de matière colorante infusible ou d'une fusibilité insuffisante, intimement mêlée à une matière vitreuse ou fondant.

Nous nommerons :

1° Métal émaillé (fer, fonte, or, argent ou cuivre), tout métal recouvert d'une couche de cristal ou verre, incolore ou coloré.

2° Paillons, les métaux émaillés de façon à présenter, sur leur surface vitreuse, des parties métalliques brillantes, or ou argent, recouvertes de verre ou de cristal.

3° Peinture sur émail sous fondant, les décorations peintes sur métal émaillé mais recouvertes de fondant.

4° Enfin peinture sur émail, sans fondant, les métaux émaillés chargés de peintures obtenues par des parémaux.

Je distinguerai les émaux en *transémaux* ou émaux transparents et incolores ou colorés, quelle que soit leur coloration, et *opémaux* ou émaux opaques, blancs ou colorés, quelle que soit la nature de l'élément qui les colore, quel que soit le principe de leur opacité.

Dans les émaux, la matière colorante sera toujours une partie minime du poids de la masse vitreuse : il y aura dissolution, combinaison chimique; leur caractère distinctif sera l'homogénéité.

Dans les parémaux, au contraire, le principe colorant pourra s'élever à une proportion très-forte, sans qu'il y ait combinaison entre l'élément colorant et le principe fusible; il n'y a qu'un simple mélange duquel résulte l'hétérogénéité de la masse.

Toutes les couleurs employées dans la décoration des porcelaines européennes, le blanc excepté, sont des parémaux; encore pour le blanc, je ne crois pas qu'il soit possible d'admettre que l'oxyde d'étain soit dissous. Les couleurs au contraire dont les Chinois se servent pour décorer leurs produits similaires, sont de véritables émaux pour la plupart; c'est même à cette différence de moyens qu'il faut attribuer la différence des effets produits par les deux espèces de porcelaines. (Voy. DÉCORATION CÉRAMIQUE.)

Dans tous les cas, quelle que soit la nature du métal émaillé qu'on veut produire, le métal se trouve recouvert d'une couche de matière vitreuse qui le préserve de l'oxydation et qu'il convient d'appliquer sur les deux faces, en dessus comme en dessous, afin d'éviter le goudolement du métal et la fente de l'émail supérieur. On donne à la couche étendue sous l'objet, lorsqu'il est placé à l'intérieur, lorsqu'il épouse la forme concave, le nom de *contre-émail*.

Lorsqu'on veut obtenir un métal émaillé chargé de peintures sous fondant ou de paillons, on recouvre la matière vitreuse d'une couche de blanc. Cette matière offre une composition uniforme et constante; mais il n'en est pas de même de celle de la première couche immédiate mise en contact avec le métal; sa composition est appropriée naturellement au métal qu'il s'agit

d'émailler, et nous avons analysé des substances employées à cet usage par les principaux émailleurs de Paris.

Voici les moyennes obtenues pour les fondants convenables pour l'émaillage de l'argent et de l'or :

Perte au feu.	0,30	0,40
Silice.	48,40	53,60
Oxyde de plomb	38,25	31,46
Oxyde de cuivre.	0,32	traces
Oxyde de fer	0,25	0,40
Oxyde de manganèse . . .	0,00	0,60
Alumine	0,14	0,54
Chaux.	0,60	0,26
Magnésie	traces	traces
Alcalis	12,04	12,31

On comprend que la soude et la potasse conduisent à des cristaux de propriétés différentes relativement à la manière dont ils se comportent avec les métaux. L'expérience n'a pas encore fait connaître les choix qu'il convient de faire, et les dosages employés par les praticiens sont encore tenus secrets.

Nous prendrons pour exemple dans cet article, afin de préciser les divers points qu'on pourra naturellement étendre à l'émaillage sur cuivre et sur or, l'émaillage de la tôle ou de la fonte pour obtenir des peintures sous fondant.

Lorsqu'on prépare des peintures sur pâte, la pâte est appliquée sur fondant et bien étendue par les moyens que nous indiquerons plus loin. Cette pâte ne se fabrique qu'à Venise avec toutes les qualités voulues. Elle n'est pas complétement blanche; elle possède au contraire une légère nuance ocreuse faiblement verdâtre sur laquelle le blanc marque et se détache convenablement, en simulant un rehaut.

ÉMAILLAGE SUR FER. — PEINTURE SOUS FONDANT.

L'émaillage sur fer ne date, à la manufacture de Sèvres, que de quelques années; les premiers essais remontent à la fin de 1849; ils ne sont donc venus que longtemps après l'émaillage sur cuivre dont on s'occupait depuis 1816. La première idée de ce genre de produit fut suggérée pendant l'exposition des produits de l'industrie française en 1849, par l'apparition dans le commerce de plaques de tôle émaillée préparées par MM. Jacquemin frères, dans l'usine de Morey (Jura).

M. Ebelmen pensa qu'il devait être facile d'obtenir sur le fer émaillé des plaques d'une plus grande dimension que celles que pouvait donner le cuivre si sujet à se déformer, et qu'on devait poursuivre avec plus de chances de succès la décoration monumentale. C'était là le but vers lequel tous les efforts étaient dirigés.

Les premiers essais faits sur des plaques de petite dimension donnèrent des résultats assez satisfaisants pour faire espérer une prompte solution du problème. Une tête de Cérès fit concevoir tout espoir, et l'on se mit de suite à l'œuvre pour décorer des plaques de plus grande dimension. Comme premier ouvrage sérieux, nous devons citer une tête de Raphaël encadrée dans des bordures ornemanisées, sur une tôle de 0m,32 de largeur et de 0m,40 de hauteur. Nous allons indiquer les moyens employés dans cette circonstance.

On a fait sur la plaque fournie par M. Jacquemin émaillée en blanc, ayant par conséquent déjà supporté plusieurs feux, peut-être quatre, savoir deux de fondant et deux de blanc, une première application de noir à deux couches, puis on a peint une grisaille, enfin on a coloré la grisaille. Pour résumer, on a donc eu la série successive des feux que je réunis méthodiquement en généralisant pour servir d'exemple.

A. — *Préparation de la plaque.*

1re Couche de noir	1er feu.
2e Couche de noir	2e feu.

B. — *Préparation de la grisaille.*

Sur le noir on fait le trait, puis on empâte avec du blanc pour obtenir les lumières; cette grisaille est faite à 3 feux :

1re couche de blanc. . . . . 3e feu.
2e couche de blanc. . . . . 4e feu.
3e couche de blanc. . . . . 5e feu.

C. — *Émaillage proprement dit.*

1re couche d'émaux de couleur. . . 6e feu.
2e couche d'émaux de couleur. . . 7e feu.

D. — *Peinture proprement dite.*

On termine la plaque par l'application de l'or et la coloration de la grisaille avec les couleurs de Genève.

1er feu de peinture. . . . . 8e feu.

En ajoutant à ces feux les quatre feux présumés nécessaires pour la préparation de la plaque blanche, cette plaque exige, pour être terminée, douze feux successifs.

Les matières employées doivent être choisies pour le noir, le blanc et les émaux colorés: nous y reviendrons plus loin.

Ce nombre de feux est considérable; on doit du reste varier un peu la série des opérations suivant les circonstances, et placer l'or à des époques différentes suivant l'effet qu'on veut produire. Ainsi, en supposant la plaque préalablement préparée par deux couches de fondant et deux couches de blanc, on distinguera :

A. — *La préparation de la plaque.*

On dessine directement sur le blanc sans mettre de noir, on étend donc :

1re couche de blanc. . . . . 1er feu.
2e couche de blanc. . . . . 2e feu.

On profite du 1er feu de blanc pour étendre l'or qui doit faire paillon et qu'on recouvrira de fondant.

On passe à la deuxième opération, en se servant de couleurs qui doivent être recouvertes de fondant.

B. — *Peinture proprement dite.*

1re couche de peinture (ébauche) . . 3e feu.
2e couche de peinture (retouche). . 4e feu.

C. — *Passage du fondant sur l'or.*

On réserve ce qui n'est pas dorure et on pose deux couches.

1re couche de fondant . . . . 5e feu.
2e couche de fondant . . . . 6e feu;

mais on profite de ces deux feux pour terminer la coloration par l'application des transémaux qui rehaussent les draperies.

D. — *Peinture de retouche en noir sur fond d'or.*

On fixe par ce dernier feu les ornements qui peuvent s'enlever sur les fonds d'or. . . . . 7e feu.

C'est encore treize feux pour compléter une pièce.

Tous les accidents qui peuvent résulter de ces cuissons répétées paraissent tenir plutôt à la mauvaise nature du verre formant la couche intermédiaire entre le métal et la surface peinte qu'à toute autre cause, et le plus grand inconvénient de cette fabrication est l'usage immédiat de plaques préparées dans le commerce.

Il convient donc de s'affranchir de cette cause de déchets en préparant directement les tôles dont on peut avoir besoin; il y a d'ailleurs un intérêt considérable à ne pas rester tributaire d'un étranger qui peut, par une négligence ou tout autre motif, entraver une production déjà coûteuse par elle-même.

Je place ici le résultat des expériences que j'ai faites pour étudier la meilleure composition à donner aux fondants qu'il faut choisir pour les mettre en contact immédiat avec les tôles. J'ai fait un assez grand nombre d'analyses et de synthèses pour les contrôler. Les fondants faits à Sèvres l'ont été dans un petit fourneau d'essai permettant de fondre à la fois 1,500 grammes de matière. Cette indication n'est pas sans importance. En opérant sur une petite quantité, le verrier trouve toute sécurité pour maintenir à son produit une composition normale. La fusion s'opère rapidement.

Les analyses ont été faites d'une manière comparable; on les a dirigées de manière à doser tous les éléments d'une manière directe, sauf l'acide borique.

Dans une première attaque au carbonate de soude, on a dosé la silice, l'oxyde de plomb, l'oxyde de fer; dans une deuxième attaque, on a déterminé l'oxyde de plomb, la chaux, la magnésie et les alcalis.

C'est par différence qu'on a déterminé l'acide borique. Cette méthode suffit; elle force un peu la quantité de l'acide borique en l'augmentant de la perte de manipulation; or pour reconstituer par synthèse le composé dont l'analyse a révélé la nature, ce n'est pas un inconvénient d'exagérer un peu le dosage de l'acide borique dont une partie s'échappe toujours par volatilisation.

Les différents fondants soumis à l'analyse étaient :

N° 1. Fondant enlevé aux plaques émaillées de M. Jacquemin.

N° 2. Fondant pour fer, préparé par M. Pâris, également de bonne qualité.

N° 3. Fondant pour fer (Pâris).

N° 4. Fondant pour fer (Pâris), employé à l'émaillage des plaques de tôle de la plus grande dimension pour les figures au pied de M. Jalabert. Ce fondant livré en gros fragments laissait apercevoir, emprisonnées dans sa masse, de grosses grenailles de plomb métallique.

N° 5. Fondant pour fer incolore enlevé aux premiers ustensiles de fer émaillé, envoyés à M. Ebelmen par M. Japy.

N° 6. Fondant pour fer incolore, enlevé aux ustensiles faisant partie du deuxième envoi de M. Japy.

N° 7. Fondant pour fer, bleu, provenant d'une espèce de plateau de l'envoi de M. Japy. Il faut ajouter aux éléments consignés dans l'analyse de ce fondant 1,03 pour 100 d'oxyde de cobalt.

Quelques-uns de ces fondants avaient conduit à des écailles dont j'ai voulu connaître la cause. Voici les résultats analytiques de ces différents fondants r

Tableau A.	N° 1. Jacquemin.	N° 2. Pâris.	N° 3. Paris.	N° 4. Pâris.	N° 5. Japy.	N° 6. Japy.	N° 7. Japy.
Acide silicique.	49,00	47,70	44,04	40,05	47,50	51,00	49,00
Acide borique.	4,04	5,49	3,66	3,36	4,36	3,12	4,62
Oxyde de plomb.	27,52	28,10	36,05	39,04	31,40	22,44	25,00
Oxyde de fer et de manganèse. .	2,50	1,00	0,65	1,00	2,52	4,20	2,70
Chaux.	0,81	0,50	traces.	0,20	1,50	2,20	1,00
Magnésie	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.	0,00	traces.
Alcalis.	16,11	17,21	14,94	16,05	12,72	17,04	16,65
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,97

TABLEAU B.	N° 4.	N° 3.	N° 5.	N° 2.	N° 1.	N° 7.	N° 6.
Adhérence. . . . Aspect après fusion. Résistance. . . .	médiocre. bien glacé. bonne.	moyenne. bien glacé. bonne.	moyenne. glacé. bonne.	complète. assez glacé. bonne.	complète. glacé. bonne.	moyenne. coque d'œuf. bonne.	moyenne. coque d'œuf. bonne.
Oxyde de plomb. .	39,04	36,05	31,40	28,40	27,51	25,00	22,14
Acide borique . . .	3,66	4,65	4,35	5,49	41,04	4,62	3,12
Alcalis.	46,03	44,94	42,72	47,21	46,14	46,65	47,04

Il résulte de ces tableaux que, quelle que soit la provenance de ces divers fondants, ils sont tous formés des mêmes éléments : silice, acide borique, oxyde de plomb, alcalis, potasse et soude. Les nombres qui précèdent font voir que les fondants de M. Pâris n'ont pas offert de régularité dans leur composition ; que l'oxyde de plomb y a varié de 28 à 39 centièmes ; que la silice a varié de 47 à 40 centièmes, le fondant qui a donné les résultats les moins avantageux étant celui dans lequel le plomb était en plus forte proportion. (On a choisi pour faire l'analyse des fragments bien exempts de grenaille métallique.)

Les émaux pour fer envoyés par M. Jepy sont beaucoup moins plombeux que ceux livrés à la manufacture de Sèvres par M. Pâris. Le dernier fondant, du reste, se rapproche, sous le rapport de sa composition, du premier fondant livré par M. Pâris, celui-ci semblant identique avec l'émail provenant des plaques de M. Jacquemin. L'acide borique varie d'un produit à l'autre. En représentant par 100 le nombre le plus élevé, qui indique la dose de cet acide, le poids du plus faible devient 66. L'acide borique varie donc dans les proportions de 3 à 2.

Pour l'oxyde de plomb, en faisant une transformation analogue, le chiffre le plus élevé étant 100, la plus faible devient 57,5.

L'alcali varie dans des limites un peu moindres ; car 100 étant la proportion la plus élevée de la potasse et de la soude réunies, la quantité la plus faible de ces bases ne descend pas au-dessous de 74. Les proportions de chaux ne m'ont pas paru devoir exercer une influence notable sur les propriétés de ces fondants. Je les ai considérées comme accidentelles ; j'ai de même, dans les synthèses, négligé d'introduire les oxydes de fer et de manganèse qu'on ne peut considérer que comme accessoires et dont la proportion, du reste, n'est devenue notable que dans les échantillons arrachés à la tôle émaillée et cuite ; dans ce cas, le fondant enlève toujours au fer une portion d'oxyde qui le colore en noir et le métal dénudé paraît parfaitement décapé, brillant d'un vif éclat.

Ces données sur la composition des divers fondants ont servi de base pour les reproduire par synthèse, afin d'abord de vérifier expérimentalement l'analyse et pour étudier d'une manière comparative et raisonnée leur résistance au choc et leur adhérence au métal. Les fondants préparés suivant les indications de l'analyse ont tous présenté les caractères des émaux de M. Pâris, avant comme après la cuisson.

Appliqués à une épaisseur très-faible, ils prennent sur le fer, comme ces derniers, un aspect noirâtre qui pourrait faire croire que ce métal a été recouvert d'une couche de noir. Sous une épaisseur plus considérable, ils prennent un aspect opalin qui masque complétement la nature du métal et qu'on pourrait attribuer à la présence dans la matière vitreuse, soit du phosphate de chaux, comme dans l'opale, soit du sulfate de potasse, comme dans le verre dit *pâte de riz*. Cette demi-opacité n'est due, comme l'analyse et la synthèse l'ont confirmé, qu'à de petites bulles emprisonnées dans l'intérieur du cristal, assez nombreuses quand la couche est épaisse pour détruire complétement la limpidité de l'enduit fondu ; ces bulles sont d'ailleurs parfaitement visibles dans les éclats qu'on peut détacher à coups de marteau des plaques de tôle émaillée. La partie même qui reste, dans certains cas, adhérente au métal, présente alors l'aspect et la coloration de ce fondant appliqué en couche mince.

J'ai réuni dans le tableau marqué B les résultats des diverses expériences à l'aide desquelles j'ai tenté d'apprécier la valeur industrielle des fondants analysés plus haut et reconstitués par synthèse ; c'est de l'examen de la cassure et de l'étendue de la surface métallique mise à nu que j'ai cru pouvoir déduire les qualités comparatives de ces fondants.

Lorsqu'on frappe à coups de marteau sur une petite plaque recouverte de fondant, ce fondant s'étoile d'abord, puis s'élève tantôt en mettant à nu le métal, tantôt en se séparant en couches distinctes, l'une qui se détache, l'autre qui reste adhérente au fer. Dans le premier cas évidemment, l'adhérence est moindre que dans le second cas. C'est ce dernier que j'ai désigné dans le tableau qui précède par le terme adhérence complète. Le mot *adhérence médiocre* ne s'applique qu'aux fondants qui s'enlèvent en entier et facilement sous le choc du marteau ; *adhérence nulle* veut dire que par le refroidissement seul le fondant se sépare sous forme d'éclats. Enfin j'ai réservé le mot *adhérence moyenne* pour les fondants qui jouiront de propriétés intermédiaires ; il qualifie des fondants n'ayant pris qu'une adhérence irrégulière, c'est-à-dire complète sur divers points, médiocre sur d'autres. Il est évident que le mot adhérence complète ne peut être pris dans un sens absolu ; car il n'y a pas de fondant qui résisterait à l'exfoliation par des chocs répétés dont l'action se rapprocherait de celle d'une lime ou d'un égrugeoir.

Pour éviter une dénomination difficile, explicative des divers points de fusion comparée de ces différents fondants, on a jugé plus simple de les classer par ordre de fusibilité en commençant par le plus fusible. Cette fusibilité, quoique très-peu variable, d'un émail à un autre, est évidemment liée néanmoins à la proportion de l'oxyde de plomb que l'analyse a décelée. Les variations présentées par les alcalis et l'acide borique paraissent perdre leur influence vis-à-vis de celles de l'oxyde de plomb. Il serait, du reste, difficile de se pro-

noncer *à priori* sur la fusibilité comparative de composés aussi complexes, et surtout si la potasse et la soude se trouvent simultanément employées ; d'ailleurs ces composés contiennent de l'acide borique et l'étude des borosilicates multiples considérés à ce point de vue est encore à faire.

On a noté dans le tableau B, outre l'adhérence et la quantité de l'oxyde de plomb qui augmente à mesure qu'on voit croître la fusibilité, l'aspect après la fusion, puis les quantités centésimales, soit de l'oxyde alcalin, soit de l'acide borique.

Les essais d'adhérence ont été répétés sur plusieurs plaques différentes. Ils ont permis d'accepter avec certitude, comme conformes à la vérité, les résultats qu'ils présentaient et les conséquences qu'on est tenté d'en tirer.

Il est hors de doute, d'après l'étude du tableau qui précède, que la composition qui remplit les meilleures conditions d'adhérence et, par conséquent, les chances de plus grande durée, correspond aux analyses des fondants marqués nº 1 et nº 2. C'est ce produit qui devait me servir de point de départ pour la fabrication des fondants destinés aux essais en grand tentés dans l'atelier d'émaillage.

Toutefois, avant d'en faire une quantité considérable, avant aussi de donner cette recette comme celle qui conduit aux résultats les plus pratiques, j'ai jugé prudent de m'assurer, par des fontes répétées et des essais successifs, de la constance des bonnes qualités de ce fondant, tout en cherchant le moyen de le produire au meilleur compte possible et d'une composition chimique invariable.

Dans une première opération, on a fait fondre pendant six heures, dans le fourneau à vent du laboratoire, le mélange suivant :

Sables d'Étampes	48
Minium	30
Borax fondu	8
Carbonate de pot. content 28 p. 100 d'eau.	28
	114

Ces nombres correspondent aux proportions suivantes :

Silice	48,00
Oxyde de plomb	29,00
Potasse du carbonate	15,25
Soude du borax	2,48
Acide borique	5,52
	100,25

Ce fondant, appliqué par quatre couches successives sur une plaque de fer à des feux répétés dix fois, n'a présenté ni craquelure, ni bouillon ; il nous a donc paru donner les garanties d'une suffisante résistance.

Dans une deuxième opération, on a remplacé le carbonate de potasse par une quantité de carbonate de soude telle que le poids de l'alcali ne variât pas : on a obtenu une masse plus verte, mais qui, appliquée sur le fer, s'est comportée de la même manière que le produit de la première fonte.

On peut donc, sans inconvénient, remplacer la potasse par la soude, dont le prix est moins élevé. En supposant que, dans le premier dosage, 5,25 de potasse aient pu provenir d'une quantité proportionnelle de nitre, on peut représenter encore le produit fondu par les nombres qui suivent :

		Cristal.
Silice	48,00	55,18
Oxyde de plomb	29,00	33,34
Potasse et soude	10,00	11,49
Potasse du nitre	5,25	
Borax	8,00	
	100,25	100,00

On voit alors que les proportions de silice, d'oxyde de plomb et des alcalis qui restent, sont celles dans lesquelles, en moyenne, on combine ces substances pour composer le cristal. D'après les nombreuses analyses des cristaux que j'ai eu l'occasion de faire à diverses époques, ces éléments oscillent autour des nombres de la 2e colonne, en sorte que le fondant en question pourrait encore être fabriqué avec assez d'avantages en refondant du groisil de cristal avec du nitre et du borax. On l'obtiendrait encore plus économiquement en fondant du cristal avec du borax ou de l'acide borique, auquel on ajouterait une quantité convenable de carbonate de soude pour introduire l'alcali fourni par le nitre et le borax, dont les prix sont assez élevés.

M. Pâris a fait connaître, dans le bulletin de la Société d'encouragement (février 1850, p. 78), le procédé qu'il emploie pour faire son fondant pour fer. Il prend :

Flint-glass	130,0
Carbonate de soude	20,5
Acide borique	12,0

En supposant au flint-glass la composition moyenne de deux cristaux anglais analysés par M. Berthier, savoir : le cristal de Newcastle et celui de Londres :

	De Newcastle.	De Londres.	Moyenne.
Silice	51,4	59,2	55,3
Oxyde de plomb	27,4	28,2	32,8
Potasse	9,4	9,0	9,2

on s'accorde assez bien avec l'analyse donnée pour les fondants cités plus haut.

L'acide borique indiqué se trouve aussi d'accord avec le nombre fourni par expérience.

L'usage, comme matière première, du groisil de cristal a l'inconvénient d'introduire un élément d'une composition inexactement connue et très-variable. Il suffirait seul pour expliquer les différences que nous avons constatées dans la composition des émaux fournis à diverses époques par M. Pâris. Les expériences dont les résultats sont consignés plus haut, relatives à l'adhérence au métal des composés vitreux que j'ai préparés, et les accidents qui ont suivi la confection de plusieurs des plaques émaillées et peintes, révèlent suffisamment, je pense, le danger qu'il y aurait à rechercher l'économie par l'emploi des groisils. L'oxyde de plomb, qu'on doit craindre d'ajouter en trop grande quantité, doit cependant faire partie du composé, car nous avons fait des verres de composition variée, mais sans pouvoir obtenir la moindre adhérence. A l'inconvénient d'être trop peu fusibles, ces fondants joignaient celui de voler en éclats sans aucun choc, par l'effet seul du refroidissement. Le dosage le plus avantageux nous a paru devoir être celui dont j'ai fait usage.

En présence de ces faits je me suis trouvé conduit à conseiller de composer toujours de toutes pièces le fondant pour fer dont on se sert aujourd'hui dans l'atelier d'émaillage, en ne faisant usage que de substances chimiquement définies, identiques et de la plus grande pureté.

Je remplace par l'acide borique cristallisé le borate de soude, en augmentant la dose du carbonate de soude d'une quantité convenable pour retrouver l'alcali qu'on introduisait d'abord à l'état de borax. Voici les proportions employées maintenant :

Sable	48,0	conten.	silice	47,90
Minium	30,0	—	oxyde de plomb	28,89
Carbonte de soude.	30,0	—	soude	17,57
Acide borique	10,0	—	acide borique	5,64
	118,0			100,00

Cette composition est la base de la fabrication actuelle.

Puisque nous parlons ici de l'économie qu'on pourrait apporter dans cette fabrication, nous rappellerons l'usage qu'on peut certainement faire du borate de

chaux natif, sur lequel nous avons fixé l'attention à l'article ACIDE BORIQUE. Nous n'avons pas essayé cette substitution dans les fondants pour fer; mais comme elle réussit très bien pour les émaux préparés pour terre cuite, il y a tout lieu de penser qu'elle est possible et qu'elle serait avantageuse pour le cas qui nous occupe. (Voy. p. 431, ÉMAUX pour terre cuite.)

J'ai cherché, par l'introduction de quelques matières céramiques, à modifier l'adhérence et les rapports de dilatabilité du fondant et du métal.

On a successivement étudié sous ce rapport, tant pour diminuer la richesse en oxyde de plomb de la couche en contact avec le fer métallique, que pour isoler ces deux matières :

1° Le biscuit de porcelaine dure.	3° La terre de Dreux.
	4° Le kaolin.
2° Le biscuit de porcelaine tendre.	5° Le talc.
	6° L'ocre jaune.

Pour chacune de ces matières, on a fait deux essais en partant, comme élément invariable, du fondant dont la composition vient d'être donnée.

a. Après avoir mis à un premier feu une couche de fondant, on a mis une couche de la matière en essai; enfin le tout a été recouvert d'une deuxième couche de fondant cuit à un troisième feu.

b. On a mis à un premier feu une couche de fondant; par-dessus une couche d'un mélange à parties égales de fondant et de la matière en essai; enfin à un troisième feu pour recouvrir le tout, une deuxième couche de fondant pur.

Biscuit de porcelaine dure.

a. La masse vitreuse ainsi formée n'a pas pris d'adhérence.

b. Le vernis est sorti du feu sans glaçure et fendillé. Le même essai répété sur la porcelaine, à l'état de dégourdi, a donné le même résultat.

Kaolin argileux de Saint-Yrieix.

a. L'émail éclate tout seul après la cuisson.

b. L'émail se lève facilement par éclats.

Terre de Dreux, argile réfractaire.

a. L'émail cuit ne prend aucune adhérence.

b. Dans les conditions de cet essai, l'émail ne tient pas.

Talc.

a. L'émail ne glace pas.

b. Il y a de nombreux bouillons.

Ocre.

a. L'émail n'offre aucun glacé.

b. Dans les conditions de cet essai, il y a bouillonnement considérable.

Dans ces diverses expériences, on a remarqué que les fondants paraissaient faire éclater la substance intermédiaire lorsque cette matière ne prend pas avec le vernis plombeux une adhérence suffisante. En partant de ce fait connu, que les pâtes de faïence fine dure comme celles de porcelaine tendre artificielle, soit française, soit anglaise pouvaient être facilement recouvertes d'une glaçure plombifère bien unie, sans tressaillures ni bouillons, j'ai fait, dans les doubles conditions relatées plus haut, l'essai des pâtes de terre de pipe et de porcelaine tendre artificielle.

1° Le biscuit de la faïence fine dure de Creil.

2° Le biscuit de la porcelaine tendre de Sèvres.

Biscuit de faïence fine de Creil (porcelaine opaque).

a. Formé d'une couche de pâte emprisonnée par deux couches de fondant, le vernis, dont le fer est couvert, ne présente pas de solidité; la pâte qui reste sans cohésion permet l'exfoliation de la triple couche dans son épaisseur.

b. En employant un mélange à parties égales de pâte et de fondant, on obtient toute l'adhérence désirable.

Biscuit de porcelaine tendre de Sèvres.

a et *b*. Les essais faits avec la pâte de porcelaine tendre nouvelle de Sèvres ont fourni les mêmes résultats que ceux obtenus avec les pâtes de faïence fine. Il en résulte que toutes les fois qu'on pourra se procurer des débris de porcelaine tendre, on pourra s'en servir pour opacifier le fondant dont on couvre les tôles ou les fontes de fer.

Cette composition figure actuellement dans le service de la manufacture de Sèvres, sous le nom de *pâte céramique pour fer*.

Le *fondant pour fer* n° 1, dont j'ai donné la composition plus haut et qui sert de glaçure à la pâte céramique dont je viens de parler, peut devenir la base de fondants colorés qui pourront, par la suite, être utilement employés pour établir des peintures dans lesquelles un ton quelconque dominera. La plaque de fer, en effet, facilement préparée par le fondant du ton dominant, reçoit le ton local qu'on choisit, et ce tour de main permet de supprimer les deux premiers feux de fondant. J'ai tenté quelques colorations.

La première couleur dont nous devons nous occuper est le noir, d'un usage indispensable pour la préparation des grisailles. Je l'obtiens sans peine en ajoutant aux matériaux qui donnent le fondant une quantité convenable de peroxyde de manganèse. Voici les doses que j'ai adoptées pour la préparation des noirs que j'ai préparés jusqu'à ce jour.

Sable	720
Minium	450
Carbonate de soude	450
Acide borique	150
Peroxyde de manganèse	150

On fond le tout; on coule en galettes, mais seulement lorsque l'affinage est parfait; un seul feu suffit. Il est inutile de colorer le fondant déjà fait et de refondre à un second feu.

Avec de l'oxyde de cobalt, on colore le fondant en bleu; avec de l'oxyde de cuivre, on le colore en bleu turquoise; avec de l'oxyde d'urane, on obtient un fondant jaune. On met pour les proportions de silice, d'oxyde de plomb, de soude et d'acide borique relatées plus haut :

Pour le bleu, bleu au grand feu (Voy. DÉCORATION CÉRAMIQUE), 30 gr.;

Pour le turquoise, oxyde de cuivre, 20 gr.;

Pour le jaune, oxyde d'urane, 15 gr.

On peut essayer l'effet produit par d'autres oxydes, comme l'oxyde de chrome, l'oxyde de manganèse à petite dose, l'oxyde d'étain, etc.

Les fondants bleus, jaunes et turquoise, d'après les épreuves auxquelles on les a soumis dans l'atelier d'émaillage, peuvent être appliqués directement sur le fer ou sur le fondant préalablement cuit; ils paraissent conserver, dans tous les cas, les qualités que nous avons constatées dans le fondant incolore.

Afin de comparer la valeur de ce genre de peintures, deux pièces exécutées sur fer ont été faites par des moyens différents pour être exposées aux conditions les plus désavantageuses. L'une a été peinte sur la pâte céramique, recouverte d'une couche de fondant; l'autre a été faite sur deux couches de fondant sans addition de matière étrangère.

Il serait prématuré de conclure d'une manière positive de ces premières expériences que le problème est entièrement résolu; cependant il semble possible de supposer que la composition, à laquelle nous nous sommes arrêtés, n'est pas mauvaise. Il est indispensable de satisfaire aux conditions d'un refroidissement lent pour opérer une sorte de recuit de la peinture.

On obtiendra certainement ce résultat en faisant passer la pièce, après la cuisson, dans une sorte d'appareil qui rappelle l'arche des verriers. Dans tous les cas, il est évident que l'étendue seule de la surface émaillée doit avoir tendance à rompre l'adhérence du fondant au métal.

Lorsque la peinture qu'on veut produire est une grisaille, on a tous les éléments pour obtenir le travail complet. Après avoir couché le fondant noir à deux fois pour obtenir une surface unie et régulière, on modèle le dessin avec du blanc parfaitement broyé qu'on emploie à l'eau à la spatule, en l'étendant avec une pointe d'aiguille. Ce travail très-pénible est aride; on ajoute du blanc sur les lumières, et les plus grandes épaisseurs correspondent aux points les plus lumineux. Elles font saillie. Les pénombres sont fournies par le blanc qui, mis très-mince, n'a pas assez d'opacité pour couvrir complétement le fond noir.

Le blanc qu'on préfère pour ce genre de peinture est le blanc qu'on rencontre à Paris sous le nom de *Blanc Gineston*, du nom du fabricant. M. Ginesten fut pendant longtemps aide du travail à Sèvres, chez M. Lambert, auquel on a dû pendant longtemps la reproduction des émaux à l'instar de Venise. La fabrication de Lambert fut continuée par Ginestou, qui s'est acquis, dans cette industrie, une fortune considérable.

Lorsque la peinture doit être variée comme couleur et qu'elle doit être appliquée sur un fond blanc, deux méthodes s'offrent à l'artiste: après qu'il a couché sur le fondant deux aplats de blanc et qu'il a fait cuire, ou bien on achève la décoration au moyen d'émaux transparents et colorés qu'on étend en dégradant l'épaisseur pour obtenir un certain modelé, ou bien on peint avec des couleurs très-fermes et solides, résistantes, qu'on fixe par un feu convenable et qu'on recouvre postérieurement d'une couche de fondant. Il est évident qu'on peut, en dirigeant le travail d'une manière raisonnée, faire usage sur une même pièce des deux méthodes que nous avons énoncées. De plus encore, s'il y a quelques retouches jugées nécessaires, ou sur les émaux colorés, ou sur la peinture passée sous fondant, de dernières retouches sont possibles à la condition de les faire avec des couleurs fusibles et glaçant par elles-mêmes, couleurs que nous étudierons en parlant des *peintures sur pâte*.

Composition des émaux transparents.

Nous ne pensons pas devoir donner ici tous les dosages qui conduisent aux nuances en usage dans l'art de l'émaillage. Il nous suffira d'en choisir au hasard quelques-unes qui mettront sur la voie pour obtenir la grande variété que le commerce fournit à la consommation. Nous donnerons quelques exemples de bleu, de vert, de jaune et de rubis.

On fait fondre de l'oxyde de plomb, du sable et de la potasse avec du cobalt, ou du cobalt et du manganèse, pour obtenir des bleus violacés, savoir :

	Bleu clair.	Bleu violet.	Bleu foncé.
Sable.	825	825	825
Minium	500	500	500
Carbonate de potasse à 50 p. 100 de potasse.	400	400	400
Oxyde de cobalt	1,5	1,5	3
Oxyde de manganèse .	»	3	3

Aux mêmes éléments ajoute-t-on du cuivre à la place du cobalt et du manganèse, on obtient des tons verts qu'on modifie en jaune par du chromate de potasse ou de l'oxyde de chrome. Ainsi on obtient :

	Vert bleu.	Vert bleuâtre.	Vert jaunâtre.
Sable.	825	825	825
Minium	500	500	500
Carbonate de potasse à 50 p. 100	400	400	400
Oxyde de cuivre. . . .	80	60	15
Oxyde de chrome. . . .	»	8	15

L'or à l'état de pourpre, suivant la proportion qu'on ajoute, conduit à des tons très-vifs et plus ou moins rosés, savoir :

	Rubis clair.	Rubis foncé.	Groseille.
Sable	825	825	825
Minium	500	500	500
Carbonate de potasse à 50 p. 100.	400	400	400
Or à l'état de pourpre. .	0,5	0,7	1

On broie sur la glace le pourpre de Cassius avec le sable qui doit faire partie du fondant, puis on mélange les autres éléments; on place le tout dans un creuset de terre, et l'on fond.

Composition des couleurs sous fondant.

Ces couleurs ont surtout pour objet de faire les ombres des émaux transparents qui précèdent.

Pour obtenir un bon assortiment, il suffira d'établir, ce qui est très-logique, savoir :

1° Que la couleur prise entre deux couches de matières vitreuses, l'une inférieure, l'autre supérieure, doit être plus facilement altérée que dans le cas de la peinture sur pâte, où l'on peut choisir le fondant le plus convenable à la couleur qu'on étend. Pour la couleur sous fondant, le même fondant doit nécessairement recouvrir toute la peinture et conséquemment chacune des couleurs.

2° Que dans de telles conditions plusieurs oxydes employables dans d'autres circonstances doivent être rejetés. L'expérience seule les a fait connaître. Les couleurs sous fondant doivent donc être plus limitées que celles sur pâte.

3° Qu'il faut une connexité convenable entre le fondant de la couleur et celui dont la peinture est recouverte, afin que le dernier mouille facilement l'objet peint, malgré la présence de la substance colorante.

Chercher à augmenter la persistance du principe colorant; je dis du principe colorant, qu'il soit oxyde simple, oxyde composé, sel indécomposable; rapprocher la composition du fondant de celle du composé vitreux qui doit recouvrir et envelopper la peinture, tels sont donc les deux problèmes à résoudre.

Deux méthodes se présentent pour approcher du premier but.

La première consiste à préparer les oxydes dont l'emploi reste possible avec la plus grande inaltérabilité, et, dans ce cas, autant qu'il se peut, on agit sur des matières cristallisées qui jouissent d'une grande résistance, par suite de l'état d'agrégation qu'elles possèdent. Beaucoup d'oxydes composés, préparés par la méthode de M. Ébelmen (cristallisation à haute température par voie de dissolution dans l'acide borique et volatilisation subséquente des dissolvants sous l'influence d'une chaleur prolongée) m'ont donné des résultats très-avantageux. L'emploi de ces oxydes n'a que l'inconvénient d'être beaucoup trop coûteux, et n'est applicable que dans certaines limites.

La deuxième méthode porte sur le poids du fondant; elle consiste à diminuer la quantité du fondant relativement à celle de l'oxyde employé. Le mieux serait de n'en pas mettre du tout en se fondant sur la fusibilité du blanc ou du fondant sur lequel on applique la couleur, si cette fusibilité pouvait être telle que la matière colorante pût suffisamment adhérer. Mais comme le fondant ne s'applique qu'avec la spatule sur la pein-

ture déjà cuite, il faut que cette dernière présenteune résistance assez considérable déjà. Un autre motif qui s'oppose encore à ce qu'on soit par trop avare de la matière vitrifiable est le mode d'application des couches successives après cuisson. On sait que les couleurs broyées finement sur une glace sont délayées dans de l'essence de térébenthine. Or, avec ce liquide, qui est très-fluide, on ne saurait peindre facilement sur une surface poreuse absorbante, capable en conséquence d'absorber la retouche que le peintre voudrait étendre.

On a dû, dans la préparation des couleurs qui vont suivre, tenir compte du parti qu'on pouvait tirer de l'emploi des deux moyens d'éviter la fugacité des oxydes. On a pu de la sorte se garantir avec assez de bonheur des deux écueils que j'ai signalés : trop de fondant qui agirait avec trop d'intensité sur le principe colorant; trop peu de fondant qui rendrait la peinture difficilement exécutable ou facilement altérable pendant l'application des deux couches de fondant.

La composition dont il convient de rapprocher le fondant à mêler aux couleurs, pour qu'elles reçoivent de la part du fondant superposé le glacé si flatteur de la peinture sous fondant, résulte incontestablement de la composition de ce dernier fondant lui-même qui n'est et ne peut être qu'un cristal attendri.

Ceci posé, voici les dosages auxquels on peut s'arrêter. On obtient par les méthodes suivantes les oxydes qu'on mêle avec ce qu'il faut de fondant pour faire adhérer.

Noir solide. — On fait calciner au rouge blanc :

Oxyde de chrome.	200
Oxyde de fer rouge.	150
Oxyde de cobalt.	100

On mêle avec son poids de fondant que nous nommerons fondant n° 1, et qui contient :

Sable.	300
Minium.	600
Borax fondu	100

Brun de bois. — On prend le précipité qu'on obtient en traitant par le chromate de potasse, le protosulfate de fer, on le mélange au fondant n° 1 et à l'oxyde à brun qu'on prépare en faisant dissoudre et précipitant par le carbonate de soude :

Zinc métallique.	200
Fer métallique	200
Oxyde de cobalt.	40

On lave et on sèche quand le précipité perd sa couleur verte.

Le mélange se fait dans les doses suivantes :

Chromite de fer.	250
Oxyde à brun de bois. . . .	250
Fondant n° 1.	125

Carmin. — Au pourpre de porcelaine, que nous avons déjà décrit page 411, on ajoute du rubis dont la préparation précède, savoir :

Rubis clair.	300
Pourpre de porcelaine dure.	150

On triture sans fondre.

Pourpre. — Au pourpre de porcelaine on ajoute une moins forte proportion de rubis; cette couleur s'emploie comme la précédente. On dose :

Rubis foncé.	150
Pourpre de porcelaine dure .	150

On pourra s'inspirer des dosages que nous donnerons plus loin pour préparer des nuances différentes. L'oxyde de fer rouge auquel on ajoute le dixième de son poids de fondant n° 1 conduit à du brun rouge de bonne qualité : cette couleur offre néanmoins le défaut de se fendiller sous le fondant; on la rend plus solide en l'additionnant de jaune foncé dont nous donnerons plus loin la composition.

Fondant pour peintures.

Les couleurs qui précèdent ne glacent pas par elles-mêmes, ainsi que nous l'avons dit; elles ne prennent le glacé qu'on recherche dans la peinture émaillée que lorsqu'elles ont été passées sous fondant. Ce fondant doit donc être très-limpide après sa fusion, bien étendu et bien égal, sans fissures ni bouillons; il doit respecter les couleurs et les aviver plutôt que les détruire. Il est convenable de le tenir un peu plus fusible que les émaux. Je le prépare en faisant fondre dans un creuset de terre :

Sable	825
Minium	500
Carbonate de potasse à 50 pour 100 d'eau	125

On le pile après l'avoir parfaitement affiné, on le lave à l'eau bouillante et on l'étend à deux couches pour l'obtenir parfaitement uni.

PEINTURE SUR PATE.

Occupons-nous maintenant de la peinture que nous avons nommée peinture sur pâte, du nom de la substance qui sert d'excipient et de la position qu'occupent les couleurs par rapport à l'excipient; il n'y a plus de superposition de fondant; les couleurs ont par elles-mêmes la fusibilité voulue pour se parfondre complétement au feu de peinture.

La peinture sur pâte peut présenter deux aspects complétement différents, suivant qu'on l'aura faite à l'instar ou de l'aquarelle ou de la gouache : dans l'aquarelle, le peintre procède méthodiquement en réservant la lumière donnée dès lors par le blanc de l'excipient; il finit son travail par les vigueurs. Dans la gouache, au contraire, comme dans la peinture à l'huile, les vigueurs et les demi-teintes étant en place, l'artiste étale les lumières, qui sont en quelque sorte empâtées et comme en relief. Le peintre en émail ne doit pas être exclusif; il doit, selon les besoins de son ouvrage, adopter tel mode qui lui semble le plus convenable, et souvent, dans une même pièce sur un même sujet, faire usage des deux méthodes; c'est donc, à mon avis, ajouter aux connaissances des peintres en émail que de les mettre à même de faire usage à leur gré de deux palettes au lieu d'une seule.

La peinture par empâtement étoit très-anciennement employée; c'est elle qui jouissait aussi de la plus grande vogue sur la porcelaine tendre de Sèvres.

Pour peindre par empâtement, il suffit de choisir parmi les couleurs qu'on pourrait employer celles qui sont opaques, afin de les faire entrer comme base dans toutes les autres couleurs; de ce nombre sont les jaunes clairs ou foncés qu'on peut colorer et modifier par d'autres couleurs transparentes, et les blancs qui peuvent aussi recevoir en mélange tous les autres tons de la palette. Les mélanges ainsi formés conservent l'opacité nécessaire pour boucher complétement les fonds sur lesquels on les applique. Nous n'aurons donc à nous occuper ici que des couleurs propres à la peinture dans le genre de l'aquarelle.

Les procédés que je vais décrire, bien compris et mis à profit, permettront, je l'espère, de faire entrer dans le domaine de la peinture sur émail, comme dans celui de la peinture sur porcelaine tendre, les ressources auxquelles ont conduit les progrès de la chimie pendant ces vingt dernières années. Le secret dont se sont entourés jusqu'à ce jour les peintres d'émail d'une part, et de l'autre les fabricants de couleurs vitrifiables, l'isolement dans lequel ils ont tous travaillé, enfin certains préjugés, comme aussi peut-être quelques difficultés inhérentes à la nature et à la composition même des ex-

cipients qui devaient au feu recevoir la peinture, tout a contribué pendant longtemps à proscrire l'emploi d'un grand nombre de matières colorantes parfaitement utilisables ; tout a fait ajourner, sinon rejeter des améliorations qui certainement auraient dû prendre rang depuis longues années. Tout enfin ramenait fatalement aux seules substances usitées au commencement du siècle. Il est vrai que la perfection des peintures antérieurement obtenues, démontrant d'une manière évidente qu'un petit nombre de matières pouvait suffire, donnait gain de cause à la routine. Mais, en présence des difficultés à vaincre, des chances à courir pour atteindre à cette perfection, j'ai pensé que c'était rendre à l'art et à l'industrie un véritable service que d'augmenter le nombre des matières utilisables, d'en introduire de nouvelles et de diminuer les tâtonnements coûteux toujours inséparables de toute peinture en couleurs vitrifiables. Au reste, l'expérience a prononcé ; des essais de peinture empâtée et de peinture aquarellée ont été faits avec un assortiment que j'ai composé pour introduire dans l'émaillage toutes les ressources de la palette actuelle propre à décorer la porcelaine dure ; l'aquarelle seule devait déjà présenter, uniquement, à cause de l'uniformité du glacé et de l'harmonie qui en résulte, une grande supériorité sur la peinture sur porcelaine dure. MM. Abel Schilt et Cuban, de la manufacture de Sèvres, ont été chargés du soin d'exécuter les peintures en question, et j'ose espérer que les deux peintures qu'ils ont faites, déposées dans les collections du musée céramique, offrant l'exemple de l'emploi simultané des anciens moyens et des méthodes en usage dans la peinture sur porcelaine dure, viendront à l'appui de l'opinion que je viens d'émettre. J'aborde l'exposé des recettes à l'aide desquelles il devient possible de reproduire cette palette.

J'admets avec M. A. Brongniart qu'il n'y a pas de combinaison entre l'oxyde colorant et le fondant qui le fait adhérer, qu'il n'y a que simple mélange. S'il y a combinaison, elle n'est que partielle et ne peut généralement qu'altérer la nuance qu'on cherche à obtenir. La peinture sur porcelaine, comme celle sur pâte, en tant que nous considérons celle-ci comme obtenue par les moyens de l'aquarelle, est donc le résultat tout simple de l'apposition d'oxydes colorants simples ou composés sur un excipient, apposition rendue permanente par la fusion du fondant qui, se trouvant en outre en quantité suffisante, englobe et noie toutes les molécules colorantes, de manière à les aviver dans leur nuance et à rendre leur surface parfaitement glacée. Ce double but est atteint dans la peinture à l'huile par les huiles et le vernis qui jouent un rôle des plus complexes. Le délayant, dans la peinture vitrifiable, n'a qu'un objet momentané : celui de rendre la couleur facilement employable et les retouches possibles ; l'application de la chaleur le doit faire complétement disparaître. Les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les couleurs pour pâte sont celles que doivent remplir les couleurs pour porcelaine dure. Je crois pouvoir me borner à les énumérer : ces couleurs doivent être fusibles, suffisamment dures et inaltérables, indestructibles par une chaleur modérée, déterminée préalablement. Je ne m'occuperai d'une manière spéciale que de la fusibilité, la dureté et l'inaltérabilité se trouvant, du reste, liées naturellement à la composition chimique qu'il a fallu mettre d'accord avec la température nécessaire pour cuire, puis ensuite avec une inaltérabilité suffisante.

La fusibilité de ces couleurs doit non-seulement amener, par l'application de la chaleur, l'adhérence de la couleur sur la pâte, mais encore communiquer à la matière colorante un glacé convenable et uniforme. Les couleurs pour porcelaine dure présentent sous le rapport de l'uniformité du glacé des difficultés qui donnent une grande supériorité à la peinture sur émail et à la peinture sur porcelaine tendre.

La fusibilité propre de la pâte, son analogie de composition, avec les couleurs qui doivent la recouvrir, simplifient beaucoup la préparation des *parémaux* qui nous occupent. Si quelques couleurs, comme les pourpres et les carmins, subissent, de la part de la glaçure, quelques modifications qui tendent à les altérer, ces mêmes couleurs ne sont pas sans offrir de grandes difficultés dans leur fabrication appropriée à la porcelaine dure.

Dans la peinture sur porcelaine dure, on dégrade un ton, non en le mêlant à du blanc, comme dans la peinture à l'huile, mais en mettant la couleur sous une faible épaisseur; le blanc de l'excipient, qui transparait, l'appauvrit et le dégrade convenablement au gré de l'artiste. On obtient, au contraire, des tons vigoureux en augmentant l'épaisseur de la couleur ; il en résulte qu'on n'arrive que difficilement à obtenir une couleur qui glace suffisamment dans le mince ou qui n'écaille pas dans les épaisseurs, si elle peut produire des lumières ayant tout le brillant désirable. Dans les couleurs pour émail sur pâte, la fusibilité de l'excipient, la facilité avec laquelle la matière colorante peut pénétrer dans la pâte rendent presque impossible de ne pas obtenir des lumières parfaitement glacées. L'analogie de composition et de plus un point de ramollissement sensiblement égal pour la pâte, comme pour les couleurs, éloignent toute crainte d'écaillage. A cet égard même, les couleurs préparées pour porcelaine pourraient parfaitement convenir pour être appliquées sur pâte ; mais la fusibilité de l'excipient, qu'on n'obtient que par la présence de l'oxyde de plomb et qui est d'un grand avantage sous le rapport du glacé, devient un inconvénient fort grave sous le rapport de la permanence de la coloration ; il devient indispensable, surtout pour certains oxydes, de diminuer la fusibilité de la couleur; ce qui entraîne à de grandes précautions pour les vigueurs qui peuvent rester sèches et comme plombées, si elles sont obtenues avec une couleur même d'une composition normale, mais mise un peu trop épaisse. On se trouve donc encore placé entre deux écueils : trop de fugacité dans les colorations et une trop grande infusibilité de la couleur ; de même que dans la peinture sur porcelaine dure on doit redouter, dans les couleurs, une fusibilité trop grande qui ferait écailler, ou trop faible qui donnerait des lumières ressuyées et sèches.

Dans un mémoire justement célèbre, publié vers 1800 dans les Annales des mines, M. Brongniart, qui devait plus tard établir, dans la manufacture de Sèvres, un atelier d'émaillage, comme il avait obtenu déjà l'établissement de la peinture sur verre, laissait ressortir, d'une manière remarquable, l'action singulière de l'oxyde de plomb sur certains oxydes et en particulier sur l'oxyde de fer. Je crois inutile d'insister davantage sur ce phénomène ; j'aurai d'ailleurs l'occasion d'y revenir tout naturellement, en parlant des rouges de fer. J'entre immédiatement dans la description des procédés employés à la préparation des couleurs que je propose. Plusieurs systèmes d'exposition sont également possibles pour donner de suite, par série de couleurs, les moyens de faire la couleur composée de son fondant et de l'oxyde qui la colore après la cuisson, ou bien étudier séparément les fondants d'abord, puis les oxydes colorants. J'ai préféré suivre cette dernière méthode, qui permettra de simplifier la préparation des oxydes, en même temps qu'elle me paraît de nature à faire ressortir certains faits qui transforment en corps de doctrine la préparation des couleurs vitrifiables. La fabrication de la couleur proprement dite, c'est-à-dire prête à être em-

ployée, qui terminera cet article, fait saisir la simplicité de nos formules qui acquièrent aussi la plus grande précision.

Fondants.

On sait que tous les oxydes qui peuvent être employés à la décoration des porcelaines ne peuvent être fixés par un même fondant : on n'ignore pas qu'il faut les choisir d'une composition telle qu'ils soient sous action décomposante sur les différentes matières colorantes ; on pouvait penser qu'il en serait exactement de même pour les couleurs de pâte. Cependant, des essais répétés ont démontré d'abord :

Que la permanence du feu pendant l'élévation graduée de la température, comme pendant le refroidissement lent des peintures, permet une action destructrice à laquelle l'oxyde simple ou composé est en partie soustrait quand on chauffe et refroidit brusquement, comme dans la cuisson des peintures sur pâte ;

Que la composition de l'excipient de la porcelaine dure, c'est-à-dire la composition de la couverte, peut-être la présence de l'alumine, entraine certaines altérations qui ne se manifestent point sur d'autres excipients, par exemple dans la peinture sur verre. Les considérations qui précèdent, basées sur des faits que l'expérience a nettement révélés et que la théorie ne pouvait en quelque sorte prévoir, m'ont permis de réduire, d'une manière notable, le nombre des fondants propres à la peinture sur pâte. J'ai pu produire les analogues de tous les tons de la palette de Sèvres pour la porcelaine dure, en ne faisant usage que de deux fondants que je désignerai sous les noms de *fondant n° 1* et *fondant n° 2*.

Voici leur composition :

Fondant n° 1. Ce fondant renferme :

Sable	200
Minium	500
Borax fondu	75

On fond et on coule comme s'il s'agissait de fondant aux gris de porcelaine dure. Il est moins important ici de n'opérer que sur de petites quantités, parce qu'on n'a pas à redouter l'écaillage. Ce fondant n'est autre chose que du fondant aux gris modifié, dans lequel on a diminué la proportion de borax et de l'oxyde de plomb ; on l'emploie pour la préparation des gris, des noirs, des bleus et des verts, des jaunes, des rouges, des bruns et des violets de fer, enfin pour le violet d'or ; c'est, comme on voit, un fondant général. Il n'y a d'exception que pour les pourpres et le carmin qui exigent un fondant beaucoup moins plombeux.

Fondant n° 2. Le fondant n° 2, qui convient aux pourpres et au carmin, se compose de :

Sable	400
Minium orange	300
Borax	600

On pile, on mélange, et on fond ; on retire avec les pinces ; ce fondant est beaucoup plus pâteux que le précédent. En le comparant au fondant de pourpre des porcelaines dures, il est facile de voir qu'il n'en diffère que par un peu plus de plomb et un peu moins de borax.

Matières colorantes.

Les matières colorantes employées dans la peinture vitrifiable ne peuvent être que des oxydes métalliques simples ou composés, ou des sels indécomposables à la haute température à laquelle ces couleurs doivent se fixer. Les oxydes simples et les composés d'oxydes sont assez nombreux. Les sels employables ne figurent que pour un petit nombre. Les conditions auxquelles ces matières doivent satisfaire sont trop connues pour qu'on ait à s'y arrêter ici.

Je rappelle qu'on peut regarder comme évident, au moins pour la plupart des cas, que dans la couleur faite et cuite, il n'y a qu'un simple mélange entre l'oxyde et le fondant. Si, pour quelques-uns, le contraire peut être soutenu, la raison peut en être trouvée dans la coloration différente de la couleur et de l'oxyde pur qui sert à la former, et il faut admettre, dans ce cas, que la couleur doit sa nuance à un sel, ordinairement à du silicate ou du borate de l'oxyde ; c'est ce qui arrive pour les oxydes de cuivre et de cobalt.

Les silicates, une fois formés, peuvent être directement unis au fondant pour constituer la couleur.

Je dirai maintenant quelques mots de la nature des oxydes composés qui, dans ces dernières années, ont permis d'enrichir la palette du peintre en couleurs vitrifiables de nuances très vives et très-pures en offrant grand nombre de ressources jusqu'alors inconnues. Je crois pouvoir admettre qu'il y a combinaison entre les divers oxydes constituants, et que toutes les raisons qu'on a fait valoir pour prouver que les alliages ou les différents verres sont des combinaisons *définies*, ont autant d'autorité dans leur application au fait en question. Ce qui, dans le cas présent, semblerait donner gain de cause à l'hypothèse d'une combinaison réelle et non d'un mélange, n'est évidemment le changement dans la nuance de l'oxyde obtenue tantôt par voie sèche, tantôt par voie humide, changement souvent notable quand on le compare à la teinte des oxydes simples mis en présence. La coloration de l'oxyde formé peut, du reste, être reproduite avec une très-grande constance. On peut, il est vrai, combattre cette même hypothèse par les variations dans les proportions que présente souvent le composé, ce qui éloigne le caractère d'une composition parfaitement définie ; mais n'est-il pas possible d'admettre que les composés de cette nature jouissent comme les verres et les alliages de la propriété de dissoudre en quelque sorte, sans altération apparente dans les propriétés physiques, une quantité variable qui peut être souvent assez considérable des éléments plus simples dont ils sont formés.

Considérés à ce point de vue, les oxydes conduisent à des remarques assez intéressantes qui rapprocheront assurément ceux formés par voie ignée des pierres précieuses artificielles cristallisées, obtenues par M. Ébelmen, et ceux produits par voie de précipitation au sein de liquides, du ferrite de chaux décrit par M. Pelouze. Si ce n'est pas ici le lieu de discuter, à ce point de vue entièrement nouveau, la nature des composés dont on peut faire usage en peinture vitrifiable, je crois devoir me borner à donner une description très-rapide de la préparation des oxydes simples ou composés dont j'ai fait usage dans l'assortiment pour pâte qui fait l'objet de cet article. Je suivrai l'ordre fixé par les numéros sous lesquels les couleurs d'émail pour pâte sont enregistrées, savoir :

1° Gris et noirs.
2° Verts.
3° Jaunes (clair et foncé).
4° Ocre.
5° Rouges (carminé, laqueux).
6° Violets de fer.
7° Bruns.
8° Couleur d'or (violet, pourpre et carmin).
9° Bleus.
10° Blancs.

Noirs et gris. — Le même oxyde sert pour faire les noirs et les gris : dans les noirs on met plus d'oxyde, dans les gris on met plus de fondant ; l'oxyde à noir se fait de la manière suivante.

On prend :

Oxyde de cobalt	50 gr.
Fer métallique	50

On fait dissoudre séparément l'oxyde de cobalt à chaud, le fer métallique à froid, l'un et l'autre dans l'acide hydrochlorique ; les deux solutions sont étendues d'eau, filtrées et réunies ; on précipite le mélange par le carbonate de soude ; on lave à grande eau jusqu'à

ce que tout l'oxyde de fer ait passé à l'état de peroxyde hydraté entièrement jaunâtre; on dessèche et on triture le tout avec deux fois son poids de chlorure de sodium décrépité. On calcine dans un têt à rôtir à une chaleur rouge sombre; on lave à l'eau bouillante et on fait sécher. Enfin quand l'eau de lavage n'enlève plus rien, on calcine de nouveau dans un creuset à une chaleur très-intense.

Verts.— L'oxyde de chrome est la base des verts.

Vert clair. — L'oxyde à verts clairs n'est autre chose que l'oxyde de chrome pur; le moyen le plus simple et le plus économique de le faire est le suivant. On pèse :

Bichromate de potasse.	200
Soufre en fleurs	400

On place ce mélange bien trituré dans un têt à rôtir; on fait au centre une petite cavité qu'on remplit de soufre pur et qu'on enflamme; le produit de la combustion au contact de l'air est de l'oxyde de chrome qu'on lave à l'eau bouillante; il n'est point nécessaire d'agiter pour renouveler les surfaces du mélange incandescent; la combustion se propage d'elle-même. L'oxyde de chrome ainsi préparé est lavé, puis séché; on le calcine de nouveau pour enlever un peu de soufre qui n'a pas été brûlé; il est alors d'un très-beau vert.

Vert foncé. — On calcine à un fort feu dans un creuset de terre un mélange broyé et porphyrisé sur une glace :

Oxyde de chrome par le soufre. .	100
Oxyde de cobalt.	50
Carbonate de zinc	50

On lave à l'eau bouillante pour extraire le chromate de potasse soluble qui s'est formé par le fait d'un peu d'alcali retenu par l'oxyde de cobalt, ou conservé d'abord opiniâtrément par l'oxyde de chrome que les eaux de lavage même bouillantes n'en débarrassent pas complétement; il y a là quelque chose d'analogue à ce que M. Chevreul a désigné sous le nom général de *phénomènes de teinture*.

Vert bleuâtre n° 1. — On traite, comme il vient d'être dit, le mélange suivant :

Oxyde de chrome	100
Carbonate de cobalt	30

On lave après une forte calcination à un feu vif; l'oxyde ainsi préparé est d'un beau ton vert bleuâtre bien pur.

Vert bleuâtre n° 2. — Même préparation que la précédente. Les doses seules sont changées; on prend :

Oxyde de chrome par le soufre. .	100
Carbonate de cobalt.	50

On lave à l'eau chaude pour enlever toute trace de chromate de potasse.

Vert noir n° 1. — On broie sur la glace, jusqu'à porphyrisation complète, un mélange d'oxyde de chrome par le soufre et d'oxyde de cobalt tel que les Anglais nous le livrent. La calcination ne peut combiner qu'une partie de l'oxyde de cobalt; le chrome n'étant pas en excès, la coloration est noircie par l'oxyde de cobalt hors combinaison. On prend :

Oxyde de chrome par le soufre. .	100
Sesqui-oxyde de cobalt	100

On triture, puis on lave à l'eau bouillante et on fait sécher.

L'oxyde, ainsi préparé, est vert noirâtre, présentant une teinte de vert bleuâtre. Cette teinte se maintient bien après le mélange avec le fondant; la cuisson ne l'altère pas.

Vert noirâtre n° 2. On broie sur une glace le mélange suivant :

Oxyde de chrome.	20
Oxyde de cobalt anglais brut. . .	10
Hydrate de peroxyde de fer. . . .	15

On calcine à un fort feu. L'hydrate d'oxyde de fer, dont il est ici question, est de l'oxyde de fer qui se précipite spontanément d'une dissolution de protosulfate de fer très-étendue d'eau; cet hydrate est brun jaune vif; il contient à peu près 25 p. 100 d'eau.

Le produit de la calcination est repris par l'eau bouillante, puis séché; cet oxyde, qui est vert noirâtre, ne présente plus qu'une teinte brunâtre. La teinte bleuâtre du précédent a disparu; la couleur cuite conserve son ton.

Jaunes. — Les jaunes sont obtenus par l'antimoniate de potasse et de plomb.

Jaune clair. Ce jaune conviendrait pour la porcelaine dure; il s'appliquerait également bien sur émail et sur porcelaine tendre.

On fond ensemble :

Mine orange.	120
Sable d'Étampes.	40
Borax fondu.	40
Antimoniate acide de potasse. . .	40
Carbonate de zinc hydraté. . . .	30

On mêle au mortier de porcelaine, puis on fond jusqu'à ce que tout bouillonnement ait cessé.

Jaune moyen. On fond ensemble :

Mine orange.	120
Sable d'Étampes.	40
Borax fondu.	40
Antimoniate acide de potasse. . .	40
Carbonate de zinc hydraté. . . .	20
Oxyde de fer jaune par l'eau. . .	20

On mêle, puis on fond jusqu'à ce que tout bouillonnement ait cessé.

Jaune foncé. On mêle :

Mine orange.	120
Sable d'Étampes.	40
Borax fondu.	40
Antimoniate de potasse.	40
Oxyde de fer (colcothar).	20

On fond à un fort feu pour bien dissoudre tout l'oxyde de fer. Ce jaune, comme le jaune qui précède, peut être tout aussi bien employé sur la porcelaine dure que sur l'émail et sur la porcelaine tendre.

Ocre. — On fait dissoudre dans l'acide chlorhydrique séparément :

Zinc métallique..	100
Fer métallique.	100

Les deux dissolutions sont filtrées, puis réunies et précipitées par le carbonate de soude. On lave à grande eau jusqu'à ce que tout le fer précipité sous forme de protoxyde se soit peroxydé. On fait sécher le précipité et on le calcine après l'avoir additionné de deux fois son poids de sel marin décrépité. L'oxyde, après la calcination, qui ne doit pas dépasser le rouge sombre, est lavé à l'eau chaude, puis séché de nouveau; il est alors prêt pour l'emploi. C'est une poudre d'un ton ocreux très-riche et très-puissant.

Rouges.— Les rouges et les violets de fer s'obtiennent tous par la calcination du sulfate de protoxyde de fer à des températures de plus en plus élevées. C'est du colcothar à divers degrés de calcination. La méthode la plus simple qui m'a réussi le mieux consiste à choisir de la couperose très-pure, qu'on dessèche en la faisant fondre d'abord dans son eau de cristallisation et en la maintenant sur le feu tant qu'elle perd de l'eau; à l'état de dessiccation complète, c'est une

poudre blanchâtre anhydre qui peut être immédiatement employée pour la préparation de toutes les couleurs dites rouges de fer, qu'elle qu'en soit du reste la nuance. A cet effet, on dispose le sulfate anhydre sur des capsules de porcelaine dure, sous une faible épaisseur, et on remplit le moufle de capsules ainsi chargées, maintenues les unes au-dessus des autres. On met la porte en place et on chauffe doucement d'abord, puis à un degré convenu suivant le ton auquel on désire arriver. Quand le feu a été jugé prolongé suffisamment en temps et en intensité, on laisse refroidir et on lave à l'eau bouillante la poudre de colcothar qui occupe le fond de chaque capsule. La poudre bien lavée présente alors, suivant le coup de feu qu'elle a reçu, la coloration suivante dégradée en série en commençant par le plus rouge correspondant au coup de feu le plus faible.

Rouge orangé ou capucine.	Rouge laqueux.
Rouge sanguin.	Rouge violâtre pâle.
Rouge de chair.	Rouge violâtre.
Rouge carminé.	Rouge violâtre foncé.

Ces trois dernières teintes correspondent aux tons auxquels on a donné dans le commerce le nom générique de *violets de fer*.

Ces oxydes mêlés au même fondant conservent le ton qu'ils ont reçu de la calcination et donnent des nuances qu'on ne pourrait obtenir autrement. Elles sont très-pures, si l'on n'a pas mélangé des oxydes ayant reçu des coups de feu trop différents en intensité.

Bruns différents.—Ces oxydes sont des mélanges variables.

Brun rouge. On fait dissoudre du perchlorure de fer ou mieux la partie chargée encore du sulfate de peroxyde de fer provenant de la calcination du sulfate de fer pour rouge orangé, puis on la précipite par de l'ammoniaque. Le résidu lavé est additionné de deux fois son poids de sel marin décrépité et chauffé au rouge sombre dans un têt à rôtir. On le lave de nouveau, puis on le fait sécher. Ce rouge est brun-rouge vif.

Brun rougeâtre. On fait dissoudre séparément dans l'acide chlorhydrique, pour les réunir ensuite après filtration, les dissolutions suivantes :

Fer métallique.	200
Zinc métallique.	200
Oxyde de cobalt anglais.	10

On traite exactement comme il a été dit plus haut, pour le noir et pour l'ocre. L'oxyde lavé et séché est une poudre d'un beau brun roussâtre.

Brun de bois. Même méthode de préparation, mais les dosages sont changés. On prendra :

Fer métallique.	200
Zinc métallique	200
Oxyde de cobalt anglais	40

On traite comme il a été dit plus haut. L'oxyde ainsi préparé est d'un beau ton brun assez foncé.

Brun sépia. — Même méthode de préparation ; mais les doses sont encore changées. L'oxyde de cobalt est encore augmenté. On prend :

Fer métallique.	200
Zinc métallique	200
Oxyde de cobalt.	60

On précipite et on lave comme il a été dit plus haut. Le précipité passé au sel et relavé offre l'aspect d'une poudre d'un brun sépia très-prononcé.

Brun mordoré. — Le brun mordoré est une couleur très-riche qu'on prépare facilement en utilisant le précipité qu'on obtient en traitant à froid une dissolution de chromate neutre de potasse par une dissolution limpide de protosulfate de fer. On verse la deuxième dissolution dans la première ; on lave le précipité à l'eau bouillante ; puis on le fait sécher, et on le calcine à une température modérée (feu de peinture forte dans un moufle à porcelaine dure).

Brun noirâtre. — On précipite simultanément par le carbonate de potasse les dissolutions dans l'acide chlorhydrique, de parties égales en poids de fer métallique, de zinc métallique et d'oxyde de cobalt brut. On lave, on calcine enfin à une température très-élevée dans un creuset qu'on fait fortement rougir. On triture, et on obtient une poudre noirâtre avec une teinte de roux qui persiste malgré l'addition du fondant et l'influence de l'excipient. L'oxyde de zinc, dans ces circonstances, fait toujours passer au roux les oxydes composés d'oxyde de fer et d'oxyde de cobalt.

Couleurs d'or. — Le précipité pourpre de Cassius sert à obtenir, tout comme dans la fabrication des couleurs de porcelaine dure, les trois nuances tirées de l'or, le pourpre, le carmin et le violet.

Le procédé qui suit conduit à des résultats certains.

Je fais une eau régale composée de 144 grammes acide hydrochlorique et 72 grammes acide nitrique du commerce. Je fais 8 pesées de 2 grammes d'étain, 8 pesées de 0,32 d'or pur ; on met chacune de ces pesées dans une petite fiole, et je verse sur l'or 15^{g},5 d'acide (eau régale, ci-dessus), pour l'étain 11^{g},5 de la même eau régale ; on ajoute à chaque fiole qui renferme l'étain 2 grammes d'eau distillée, puis on agite ; l'étain qui est en feuilles très-minces se met par petites portions dans la fiole entourée d'eau fraîche ; la température ne s'élève pas trop, c'est une condition indispensable pour que la dissolution stannique contienne simultanément les deux chlorures d'étain. L'or est mis tout à la fois dans l'eau régale ; quand la dissolution de l'étain est complète, on verse le chlorure d'or dans 14 litres d'eau claire, et on ajoute goutte à goutte les dissolutions de l'étain, jusqu'à ce que l'addition d'une nouvelle affusion de sel d'étain donne un nuage blanchâtre ; alors on arrête.

L'addition de l'étain se fait tout en agitant avec une baguette de verre ; on lave à l'eau bouillante, et on conserve humide le pourpre de Cassius pour s'en servir au besoin ; à cet effet, on le réunit d'abord sur un filtre ; puis, lorsqu'il est suffisamment ressuyé, on étend le filtre sur une glace, et on relève le pourpre pour le conserver sous l'eau dans un bocal bien bouché.

Dans cet état, le pourpre de Cassius est prêt à donner du pourpre, du carmin ou du violet, suivant le fondant avec lequel on le mélange et suivant la dose de chlorure d'argent qu'on y incorpore.

Il faut seulement avoir soin de réserver pour du violet les précipités qui présentent à l'œil un aspect violacé ; on met de côté, pour faire le pourpre ou le carmin, ceux qui font de la couleur dite pelure d'oignon.

Bleus. — L'oxyde de cobalt ne développe de coloration bleue que lorsqu'il est en dissolution dans un flux vitreux ou lorsqu'il est en combinaison avec l'alumine ; lorsqu'il est à l'état de silicate ou de borosilicate de cobalt, il devient bleu, et la nuance est d'autant plus intense qu'il y a plus d'oxyde ; quelques millièmes suffisent pour colorer en bleu sensible les verres à base de chaux, dont la densité n'est cependant pas considérable. Le silicate de cobalt que je prépare pour faire les bleus dits *bleus d'azur* contient de l'oxyde de zinc qui empêche l'oxyde de cobalt de donner du noir. Je fonds à un fort feu :

Fleurs de zinc.	8
Oxyde de cobalt brut.	4
Fondant aux gris.	20

La masse pilée est d'un bleu noirâtre, mat quand il a

été refroidi brusquement, mais qu'une addition de fondant peut développer en un bleu riche et pur. Cette matière est, de même, la base de tous les bleus que je fais pour la porcelaine dure, et qui sont suivant leur intensité, c'est-à-dire suivant la proportion de la fonte précédente, bleu demi grand feu, bleu d'azur, bleu turquoise de Sèvres et bleu de ciel dur ou tendre.

Le fondant aux gris dont il est question n'est autre chose que le fondant dit *rocaille* fondu pour la deuxième fois avec du borax; je le compose, comme pour les couleurs de porcelaine dure, de :

Minium	600
Sable	200
Borax fondu	100

On fond et on coule.

Blancs. — Le blanc est fourni par du cristal opacifié par de l'oxyde d'étain. Les préparations qui présentent l'étain dans l'état le plus convenable pour faire de l'émail blanc, reçoivent le nom de *calcines*. On en prépare de deux sortes différentes : l'une d'une grande infusibilité, l'autre au contraire assez fusible.

Je prends :	N° 1.	N° 2.
Plomb métallique	100	100
Étain métallique	20	100

On met les deux métaux dans un têt à rôtir, puis en fond ; la surface se couvre d'abord d'un oxyde noir qui s'enflamme et se transforme en brûlant de proche en proche en une poudre jaunâtre d'autant plus blanche qu'il y a plus d'oxyde d'étain ; on arrête la calcination seulement quand toute étincelle a disparu ; il est bon, pour éviter la présence de toute particule métallique, de triturer la calcine et de la soumettre une seconde fois à la chaleur rouge.

Ces deux calcines sont employées pour faire les blancs pour peindre sur émail sur pâte.

Tels sont les procédés à l'aide desquels on peut facilement faire les couleurs qui m'ont donné de bons résultats dans mon service de Sèvres pour la peinture sur émail.

Une fois qu'on a préparé et conservé d'une part les fondants, d'autre part les oxydes, rien n'est plus simple que la préparation des couleurs elles-mêmes. On a réuni dans les formules qui suivent le dosage du fondant et de l'oxyde.

Couleurs terminées.

Je suivrai, pour énumérer les couleurs qui composent la palette actuelle, l'ordre dans lequel la préparation des différents oxydes employés comme matières colorantes a été présentée dans l'exposé qui précède. J'accompagnerai la désignation des couleurs du numéro d'ordre sous lequel elles sont enregistrées à la manufacture de Sèvres. La description qu'on va lire représente donc d'une manière exacte et complète l'état de nos connaissances chimiques sur la peinture sur émail.

Tous les dosages seront rapportés à 250 grammes à peu près ; de cette façon nous pourrons trouver des points de comparaison. On verra de suite l'uniformité de la majeure partie des compositions dont la palette est formée.

N° 1. *Gris.* — On pèse et on triture :

Oxyde à noir	40
Fondant n° 1	220

N° 2. *Noir.* — On pèse et on triture :

Oxyde à noir	80
Fondant n° 1	170

N° 3. *Vert clair.* — On pèse et on triture :

Oxyde de chrome pur	85
Fondant n° 1	170

N° 4. *Vert foncé.* — On pèse et on triture :

Oxyde à vert foncé	85
Fondant n° 1	170

N° 5. *Vert bleuâtre* A. — On pèse et on triture :

Oxyde de vert bleuâtre n° 1	85
Fondant n° 1	170

On ne fond pas.

N° 6. *Vert bleuâtre* B. — On pèse :

Oxyde à vert bleuâtre n° 2	85
Fondant n° 1	170

N° 7. *Vert noirâtre* A. — On broie :

Oxyde à vert noirâtre n° 1	85
Fondant n° 1	170

N° 8. *Vert noirâtre* B. — On pèse et on triture :

Oxyde à vert noirâtre n° 2	85
Fondant n° 1	170

N° 9. *Jaune clair.* — On fond le mélange suivant :

Mine orange	120
Sable d'Étampes	40
Borax fondu	40
Antimoniate acide de potasse	40
Carbonate de zinc hydraté	30

On coule et on pile. Ce jaune est le jaune donné à l'article des oxydes. On l'a répété ici, ainsi que ceux qui suivent, afin de ne pas séparer les recettes qui nous ont paru devoir être présentées entièrement complètes.

N° 10. *Jaune moyen.* — Le jaune qui précède se mélange très-bien avec les couleurs d'or pour faire les rouges si solides et si recherchés des carnations de l'émail. Le rouge, qui est désigné sous le nom de jaune moyen, se mélange moins bien, à cause de l'oxyde de fer qu'il renferme et qui lui donne un ton plus foncé que celui préparé par le jaune clair. On fond le mélange suivant :

Mine orange	120
Sable	40
Borax fondu	40
Antimoniate acide de potasse	40
Carbonate de zinc hydraté	20
Oxyde de fer	20

On coule et on pile.

N° 11. *Jaune foncé.* — On fond et on coule le mélange suivant :

Mine orange	120
Sable	40
Borax fondu	40
Antimoniate acide de potasse	40
Oxyde de fer rouge	20

N° 12. *Ocre.* — On pèse et on triture :

Oxyde à ocre jaune	85
Fondant n° 1	170

N° 13. *Rouge orange.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge orange	85
Fondant n° 1	170

N° 14. *Rouge sanguin.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge sanguin	85
Fondant n° 1	170

N° 15. *Rouge de chair.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge de chair	85
Fondant n° 1	170

N° 16. *Rouge carminé.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge carminé	85
Fondant n° 1	170

N° 17. *Rouge laqueux.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge laqueux	85
Fondant n° 1	170

N° 18. *Rouge brun.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge brun	85
Fondant n° 1	170

N° 19. *Rouge violâtre clair.* — On pèse et on triture :

Oxyde de fer calciné au point de devenir violâtre	85
Fondant n° 1	170

N° 20. *Rouge violâtre.* — On pèse et on triture :

Oxyde de fer violâtre	85
Fondant n° 1	170

N° 21. — *Rouge violâtre foncé.* — On pèse et on triture :

Oxyde de fer violâtre foncé	85
Fondant n° 1	170

N° 22. *Brun roussâtre.* — On pèse :

Oxyde à brun roussâtre	85
Fondant n° 1	170

et on triture.

N° 23. *Brun de bois.* — On pèse :

Oxyde à brun de bois	85
Fondant n° 1	170

et on triture.

N° 24. *Brun mordoré.* — On pèse et on triture :

Chromite de fer	85
Fondant n° 1	170

N° 25. *Brun sépia.* — On pèse et on triture :

Oxyde à brun sépia	85
Fondant n° 1	170

On ne fond pas plus cette couleur qu'on fond les rouges et les bruns qui précèdent.

N° 26. *Brun noirâtre.* — On pèse et on triture :

Oxyde à brun noirâtre	85
Fondant n° 1	170

N° 27. *Carmin tendre.* — On prend pour faire cette couleur du précipité pourpre de Cassius, préparé comme il a été dit plus haut, et conservé humide; on le broie sur une glace avec du chlorure d'argent et du fondant n° 2. Il ne faut que très-peu de chlorure d'argent. On fait un mélange bien intime des trois ingrédients, et on essaye. C'est une série d'expériences ainsi répétées qui indiquent s'il faut ajouter du précipité pourpre ou du chlorure, ou du fondant, pour arriver au ton demandé.

N° 28. *Carmin dur.* — Le carmin dur se compose comme le carmin tendre. On le prépare de même; il n'y a de différence que dans les proportions relatives de fondant et de pourpre de Cassius.

N° 29. *Pourpre.* — La même observation est applicable à la fabrication du pourpre. Le fondant, le précipité pourpre et le chlorure d'argent se composent de même; il n'y a encore de distinction que dans les proportions du précipité pourpre, qu'on met en plus grande proportion.

N° 30. *Pourpre brun.* — Le pourpre brun est un mélange à parties égales de brun mordoré, dont la composition a été donnée plus haut n° 24, et du pourpre qui précède n° 29. On prend :

Pourpre n° 29	127
Brun mordoré	128

On triture sans fondre.

N° 31. *Violet d'or.* — Le violet d'or se fait encore avec le précipité pourpre de Cassius, préparé comme on l'a dit déjà plus haut; seulement on peut, mais ce n'est pas une nécessité, opérer avec du précipité complétement desséché à l'air. On mêle le précipité sur une glace avec du fondant n° 1, et on se rend compte, par des essais et des cuissons répétées, si la proportion de l'oxyde d'or est suffisante pour donner un ton riche suffisamment glacé. J'ai commencé pour ces couleurs la même étude que celle que j'ai donnée dans le dosage des couleurs de porcelaine; mais je n'ai pas encore de dosages assez certains pour fixer les poids de fondant de pourpre et de chlorure d'argent qu'il convient d'introduire dans les carmins, les pourpres et les violets, avec espoir de préparer un produit irréprochable.

N° 32. *Bleu d'azur.* — Le bleu d'azur se fait en partant de la base que j'ai donnée à l'article des oxydes; on triture la fonte avec la moitié de son poids de fondant n° 1. On a de la sorte un bleu très-riche et d'un emploi facile.

N° 33. *Blancs.* — On fait de beaux blancs en fondant avec du sable du plomb oxydé (minium) et du nitre, les deux calcines dont j'ai présenté la composition dans la description des procédés à l'aide desquels j'obtiens les oxydes. On peut obtenir des blancs plus ou moins fusibles, suivant qu'on met de l'une ou de l'autre calcine en plus ou moins grande quantité; il faut fondre à un fort feu. Voici la composition de trois blancs de fusibilités différentes qui ont chacun leur utilité. Le plus tendre sert pour empâter sans mélange, à la manière des blancs fixes dans la porcelaine dure. Les autres sont très-bons comme blancs à mêler.

N° 1.	Calcine n° 1	100
	Calcine n° 2	200
	Sable d'Étampes	200
	Nitre	40
	Minium	100

On fond à un très-fort feu.

N° 2.	Calcine n° 1	150
	Calcine n° 2	200
	Sable d'Étampes	100
	Nitre	40
	Minium	40

On fond à une chaleur très-intense :

N° 3.	Calcine n° 1	200
	Calcine n° 2	200
	Sable d'Étampes	100
	Nitre	60
	Minium	40

On fond encore comme pour les autres blancs; on tire avec des pinces la matière fondue dans cette préparation; pendant la fonte, il faut avoir soin que les produits de la combustion ne réagissent pas sur le composé pour le réduire. La masse fondue serait veinée de traits noirs qui saliraient la nuance.

Tels sont les procédés à l'aide desquels on peut se faire un assortiment satisfaisant de couleurs pour émail sur pâte. Passons actuellement à l'exposé des méthodes pratiques à l'aide desquelles on fait l'emploi le plus convenable des éléments dont nous venons de donner une étude chimique. Mais avant de nous occuper de cette partie essentiellement technique et descriptive, fixons l'attention sur la température à laquelle il convient de cuire l'émaillage suivant qu'on peint par empâtement ou par la méthode de l'aquarelle.

Nous avons dit plus haut que l'oxyde de fer disparaissait quand on l'étend sur une surface chargée d'oxyde de plomb. Nous rappellerons que cet effet est d'autant plus sensible, que la température à laquelle on cuit la pièce est plus élevée. Or, les couleurs que nous avons

énumérées contiennent souvent de l'oxyde de fer, tantôt libre, comme les rouges, tantôt en combinaison, comme les bruns, les ocres et les noirs.

Lorsqu'on fait usage de blanc pour empâter la peinture, comme le blanc est en général une couleur dure, c'est-à-dire difficile à fondre, il faut cuire fortement la pièce pour faire glacer la couleur et lui faire prendre un glacé complet. Dans ce genre de peinture, il faudra donc ne se servir que de bruns composés obtenus par les mélanges de pourpre et de jaune foncés et violet d'or ; les rouges devront être obtenus par le mélange des pourpres et des jaunes mêlés ou par superposition. La palette devra donc être simplifiée, et nous n'aurons à faire qu'un emploi très-restreint des couleurs de fer, bruns, ocres, rouges et gris. Faute de se conformer à cette recommandation, on court le risque de perdre la majeure partie de sa peine. Si certains points exigent l'application de ces deux derniers tons, il faut les réserver pour la dernière retouche et cuire en quelque sorte exprès, c'est-à-dire à la température la plus basse possible.

Lorsqu'on fait une peinture aquarellée, la même précaution n'est plus de rigueur; on peut faire usage de toutes les couleurs dont la préparation précède, parce que le feu qui doit les parfondre n'est pas aussi vif ; il faut toutefois ne pas perdre de vue que les couleurs ne possèdent pas par elles-mêmes assez de fondant pour glacer sous une épaisseur telle que l'influence de la pâte ne se ferait plus sentir sur la surface supérieure de la peinture. Il faut donc être très-sobre des épaisseurs exagérées pour avoir le glacé qui séduit sur les porcelaines tendres et les émaux.

MÉTHODES PRATIQUES DE L'ÉMAILLAGE.

Les procédés employés pour faire l'application sur l'émail ou sur la pâte des divers composés que nous venons d'apprendre à composer sont nécessairement variables avec les composés vitrifiables eux-mêmes. Les couleurs, que nous avons nommées parémaux, sont finement broyées, appliquées au pinceau, rendues adhésives par des huiles fixes ou des essences grasses, et sous le rapport de leur application, nous ne saurions mieux faire que de renvoyer à l'article DÉCORATION DE LA PORCELAINE.

Quant aux émaux proprement dits, opémaux ou transémaux, qu'il faut coucher sous une épaisseur considérable pour obtenir le ton, l'éclat et le glacé désiré, on ne saurait les employer par ces méthodes, qui s'éloignent de l'industrie pour constituer l'art abstrait. On a recours à des voies et moyens beaucoup plus expéditifs que nous allons examiner succinctement.

Les émaux, opaques ou transparents, sont broyés sous l'eau, en poussière qui ne doit pas être trop fine. On a remarqué que les poussières trop fines ne fournissaient que des émaux louches, sans transparence. L'air dont cette poussière est mouillée ne se dégagerait-il pas aussi facilement que lorsqu'il peut s'échapper librement. Quoi qu'il en soit, le broyage des émaux qu'on applique sur les métaux autrement qu'au pinceau mérite une grande attention. On l'exécute dans un mortier d'agate, à l'état humide, en frappant sur le pilon avec un maillet de bois pour briser et non pour écraser. La poussière trop fine est lavée par l'acide nitrique, puis à l'eau pour éliminer toute impureté. Les émailleurs prétendent que s'ils négligeaient le lavage acide, les émaux perdraient toute leur limpidité ; ce lavage est d'ailleurs répété chaque fois que l'émail est resté abandonné longtemps sous l'eau. Il serait possible qu'il ait pour effet de détruire les carbonates de plomb et d'alcalis qui se forment par suite de l'altération du verre sous l'influence de l'air et de l'humidité. S'il en était ainsi, on comprendrait qu'en négligeant cette précaution, ces carbonates, à la température de la cuisson, puissent dégager l'acide carbonique sous l'influence des silicates non altérés, et que cet acide carbonique restant interposé dans la masse vitreuse communique l'opacité, les nébulosités dont on cherche à se garantir.

Lorsque la pièce qu'on veut émailler est coupée suivant les contours qu'elle doit avoir, on la décape en la faisant bouillir avec du carbonate de potasse et en la frottant avec des cendres chaudes, puis on la lave avec de l'acide sulfurique étendu d'abord, et ensuite avec de l'eau pure. On l'essuie promptement en évitant de la toucher avec les mains. On la dessèche promptement en la plongeant dans de la sciure de bois.

Pour étendre l'émail, lorsqu'il est broyé, on le couche au moyen d'une petite spatule sur les points qui doivent être recouverts. L'eau, dont l'émail est imbibé, facilite une extension égale ; on ressuie l'ouvrage en le mettant en contact par un point avec une étoffe de toile peu serrée qui, par capillarité, s'imbibe et sèche la pièce émaillée ; on régularise ensuite la surface émaillée en promenant la partie plane de la spatule. On laisse sécher à l'air libre et on porte à cuire dans le moufle.

Ce premier travail ne peut donner qu'un émail incomplet, les grains de la matière vitreuse laissent des vides et des épaisseurs qu'il faut égaliser. On le fait par l'application d'une seconde couche d'émail placée de la même manière.

La seconde couche régularise la surface ; elle fait apparaître des bulles, des grains. Une pièce bien établie ne doit présenter aucun défaut, ni fentes ni bouillons ; il faut faire disparaître les défectuosités apparentes et prévenir celles qui peuvent se développer dans la suite du travail.

A cet effet l'émailleur est toujours muni de râpes, de limes, de burins, de poinçons en acier très-dur. Il crève les bouillons, fait sauter les grains, use et polit les exubérances, fouille les crevasses et rebouche toutes les cavités au moyen de l'émail en poudre, qu'il s'agit de cuire à nouveau pour obtenir une soudure complète avec les parties voisines.

Lorsque la pièce à mettre en émail doit présenter une grande surface unie, on préfère poser les couches successives de l'émail par saupoudration au tamis, quelquefois sans intermédiaire, ce qui vaut mieux, quelquefois après application d'une liqueur légèrement agglutinative. Il faut alors que cet intermédiaire (sorte de mordant) reçoive l'impression de la chaleur sans fondre ni bouillonner, et qu'il disparaisse en totalité par le fait de son passage dans le moufle.

Quand l'émail a été couché sur les parties qui doivent être émaillées, on s'assure si toute la pièce est parfaitement sèche avant de la porter au moufle. Nous ne décrirons pas cet appareil que tout le monde connaît. Nous nous bornerons à dire que le moufle ne reçoit de variations dans sa forme que lorsqu'il doit être employé pour l'établissement de grandes pièces. Il a dans ce cas l'aspect d'un demi-cylindre couché, librement ouvert par les deux extrémités ; des portes, placées en avant et en arrière du cylindre, se manœuvrent au moyen de leviers et de contre-poids pour être ouvertes et fermées suivant les besoins. Cette disposition permet à la plaque d'entrer par une ouverture, l'antérieure, par exemple, pour sortir par l'autre, la postérieure. Le maniement des plaques est facilité par des chaînes qui maintiennent, suspendues au plafond, les tenailles dont l'émailleur fait usage, et la plaque elle-même est d'ailleurs dirigée dans son mouvement de progression par un chariot qui glisse dans des rainures ou sur des saillies analogues aux voies ferrées. Ce chariot est aussi dirigé par une table à roulettes glissant sur des rails à demeure sur le sol de l'atelier. La hauteur de cette table est exactement celle du fond du moufle. Une table identique, disposée sur la face postérieure du moufle, attend le chariot à sa sortie du feu. Les trappes qui fonctionnent comme portes

sont baissées pendant que la pièce reçoit le coup de feu voulu. La température est de la sorte régularisée dans toute la capacité du moufle.

Il faut, pour cuire de grandes plaques, des outils parfaitement aménagés, et, de la part de l'émailleur, un coup d'œil exercé. C'est au jugé qu'il quitte le feu. Le travail est rendu facile, lorsque les émaux sont composés de façon à glacer tous en même temps. L'indécision du cuiseur est grande lorsque quelques points glacent avant les autres : il hésite dans la crainte de brûler les portions déjà fondues, en attendant la fonte de celles qui paraissent rebelles.

C'est à cause de ces considérations, très importantes pour les pièces de grandes dimensions, que l'émailleur devrait savoir composer lui-même tous les matériaux qu'il met en œuvre; il s'affranchirait ainsi de bien des embarras et d'une infinité de causes de déchets, en régularisant sa fabrication. A ce titre, les documents contenus dans cet article peuvent avoir leur valeur.

SALVÉTAT.

ÉMERAUDE. Nous avons donné sous ce titre un aperçu de la valeur des pierres précieuses connues sous le nom d'émeraudes dans le commerce de joaillerie (voyez ÉMERAUDE, 2e édition de ce Dictionnaire); nous allons le compléter par un exposé sommaire d'un travail important publié par M. B. Lewy, dans les *Annales de physique et de chimie*, t. LIII, p. 55. Après avoir confirmé la composition de l'émeraude, M. Lewy trouve la preuve dans ses analyses que ce minerai est formé par la réunion d'équivalents égaux de bisilicate d'alumine et de bisilicate de glucine, comme Klaproth et Berzélius l'avaient observé déjà; le titane et l'oxyde de chrome sont au nombre des éléments accidentels; le point le plus remarquable du travail de M. Lewy est la constatation de l'eau et d'une matière organique à laquelle il faudrait attribuer la coloration de l'émeraude.

Lorsqu'on calcine une émeraude, tantôt en présence d'un courant d'azote, tantôt en présence d'un courant d'oxygène, on constate dans le premier cas un dégagement d'eau, et dans le second formation simultanée d'acide carbonique et d'eau. En présence de la petite quantité d'oxyde de chrome que l'analyse a fait reconnaître dans cette matière, on se demande s'il doit être la cause de la coloration. M. Lewy ne le croit pas; il préfère l'attribuer à la matière organique volatile. Quoi qu'il en soit, il ne faut pas oublier que l'oxyde de chrome a dans certaines circonstances un pouvoir colorant très-considérable, surtout quand il entre en combinaison.

Le travail que nous venons de citer doit avoir pour conséquence de fixer l'opinion des géologues sur l'origine de ces matières qu'on regardait comme de nature ignée; la présence des matières organiques assignerait au contraire une origine aqueuse aux émeraudes cristallisées.

ÉMERAUDE (Vert d'émeraude). — Le commerce des couleurs pour peinture fine fournit sous le nom de *vert émeraude* une magnifique couleur d'un vert très-solide; c'est de l'hydrate d'oxyde de chrome, dont la découverte remonte à plus de vingt-cinq ans, mais dont on n'a publié jusqu'à ce jour aucun mode de préparation. M. Pannetier a donné son secret à M. Binet, son aide de laboratoire, qui depuis longtemps en tira parti. Connaissant l'inventeur et le fabricant, je n'ai pas cru devoir faire connaître le procédé que j'ai trouvé par hasard en préparant des matières vitreuses boraciques pour un tout autre objet. En annonçant la publication prochaine d'une méthode propre à l'obtention d'une couleur verte très-employée dans l'impression sur étoffes, M. Bareswil me fournit l'occasion de faire connaître les observations que j'ai faites sur l'hydrate de sesquioxyde de chrome, *vert bleu de M. Chevreul*.

Je ne dirai rien de ses propriétés nettement définies dans le traité des couleurs de M. Lefort. Cet oxyde se décompose facilement en perdant son eau, lorsqu'on le chauffe, il perd son éclat et devient brun. Il n'est donc pas produit dans les conditions annoncées par l'auteur. Lorsqu'on calcine à une chaleur d'environ 500° un mélange d'acide borique et de bichromate de potasse, il y a dégagement d'eau, d'oxygène et formation d'un borate double de sesquioxyde de chrome et de potasse.

$$8\,(BoO^3, 3\,HO) + 2\,(CrO^3)\,KO = 6\,(BoO^3)\,Cr^2O^3 + 2\,(BoO^3)\,KO + 24\,HO + O^3.$$

Ce borate double en contact avec l'eau se détruit, il se dissout de l'acide borique, du borate de potasse, et le sesquioxyde de chrome se combine avec l'eau pour former un hydrate qui a pour formule :

$$Cr^2O^3\,2\,(HO).$$

La décomposition par l'eau se manifeste par un changement dans la teinte du mélange calciné, et par un gonflement considérable du produit obtenu. On varie la nuance de ce vert en ajoutant au mélange, avant calcination, du nitrate ou du chlorhydrate d'alumine.

M. Guignet, répétiteur à l'École polytechnique, a fait breveter, l'année dernière, avant toute publication (ce qui réserve entièrement tous ses droits que je me plais à reconnaître le premier), cette même méthode, qui lui permet de préparer en grand, pour les besoins de l'industrie, le magnifique vert de chrome hydraté dont l'usage est actuellement répandu sur les tissus d'Alsace par les importantes maisons de Kœchlin frères, Steinbach-Kœchlin, Dollfus-Mieg, etc. Quelques essais ont été demandés sur papier par M. Bareswil à la maison bien connue Zuber de Rixheim.

Les procédés de M. Guignet sont en exploitation depuis sept mois dans l'usine de M. Kestner à Thann, où la fabrication régulièrement installée fournit aux besoins de l'industrie des toiles peintes.

On opère en grand dans un four à réverbère; la calcination du mélange mis en bouillie épaisse par la quantité d'eau voulue s'effectue avec un boursouflement sensible, en prenant une teinte foncée d'un très-beau vert d'herbe; on la retire avec un ringard pour la plonger dans l'eau pendant qu'elle est encore rouge; elle s'y désagrège; on épuise par l'eau bouillante avant de pulvériser dans un appareil à gobilles. Les eaux de lavage sont évaporées et décomposées par l'acide chlorhydrique qui régénère l'acide borique, dont la majeure partie rentre ainsi dans la fabrication, et qui n'agit en quelque sorte que comme agent provocateur de la réaction.

L'oxyde de chrome de M. Guignet est livré maintenant à la consommation, soit comme couleur à l'huile, soit comme pâte pour les imprimeurs d'indiennes. Dans le premier cas, on le fait sécher, puis on le réduit en poudre; dans le second, on introduit la pâte directement dans les appareils à broyer. Ainsi préparé, ce vert est propre à l'impression de toute espèce de tissus par les procédés dont l'emploi repose, pour fixer les couleurs minérales insolubles, sur la coagulation de l'albumine par la chaleur.

A la date du 11 mai 1859, MM. Kestner, de Thann, avaient déjà produit près de 2,000 kilogrammes d'oxyde de chrome hydraté. Cette couleur, qui avait encore l'année dernière conservé le prix de 140 fr. le kilogramme à l'état sec, se vend en pâte au prix de 10 fr. le kilogramme, contenant 37, 50 pour 100, d'oxyde de chrome hydraté, ou 30 p. 100 d'oxyde de chrome anhydre. On régénère 65 p. 100, de l'acide borique employé, la vapeur d'eau qui se dégage dans la réaction en entraînant une grande partie.

Cette couleur éminemment solide, d'un vif éclat qu'elle conserve à la lumière artificielle, peut former, avec les jaunes d'application, des mélanges dont la pureté primitive n'est nullement altérée. Sortie du la-

boratoire du chimiste, elle est entrée dans le domaine de la pratique; elle est appelée, nous n'en doutons pas, à rendre service aux imprimeurs sur étoffes.

L'industrie des papiers peints exige un prix plus abordable; mais au nom de l'hygiène ne doit-on pas proscrire de la décoration de nos appartements toutes les couleurs à base d'arsenic ou de cuivre, dont les poussières sont constamment en contact avec les organes respiratoires? Des règlements récents en prohibent l'usage à Paris pour la coloration des tissus.

La société industrielle de Mulhouse faisait, il y a moins d'un an, appel aux fabricants de couleurs et demandait pour les toiles peintes par les méthodes plastiques un vert foncé métallique. Le programme rappelait l'intensité qui manque aux composés de cuivre, d'urane, de cobalt, intensité qui se définit assez bien par la teinte foncée du vert de vessie; elle faisait remarquer que les jaunes et les bleus perdent dans leur mélange le caractère de vivacité de leurs nuances propres. Le produit de M. Guignet comble cette lacune. L'auteur, n'eût-il d'autre mérite que celui d'avoir fait connaître un moyen de préparer l'oxyde de chrome hydraté, dont la préparation était un secret, se serait montré fort utile à la science. Il ne s'est pas contenté d'une observation purement scientifique, il a cherché parmi les industriels ceux qui pouvaient le mieux comprendre une fabrication nouvelle; admis en relations suivies avec l'une des fabriques de produits chimiques les plus recommandables, il a doté l'Alsace d'un produit dont l'usage, jusqu'alors, lui restait interdit.

Les observations de M. Guignet ont appelé de suite l'attention des chimistes sur l'oxyde de chrome hydraté; M. Arnaudon a modifié la méthode que nous venons d'indiquer de la manière suivante :

On prend à peu près parties égales des deux sels, ce qui représente sensiblement leurs équivalents, soit 128 parties de phosphate neutre d'ammoniaque et 149 parties de bichromate : on les mélange intimement au moyen de la pulvérisation, ou plutôt en les dissolvant dans le moins d'eau possible à l'ébullition et évaporant jusqu'à consistance de bouillie peu épaisse, de manière à ce que le liquide se prenne en masse solide par le refroidissement, cette masse concassée en petits morceaux est introduite dans un vase à fond plat et chauffé au bain d'huile ou de cire jusqu'à 180°.

Lorsque cette température est atteinte, le mélange se ramollit; puis, tout à coup, lorsque la masse redevenue pâteuse se boursoufle, change de couleur avec dégagement d'eau et d'un peu d'ammoniaque, on continue à soutenir la température pendant une demi-heure environ, ayant soin de n'aller pas au delà de 200°; si l'on dépasse ce point, par exemple si l'on chauffe à la température à laquelle le vert émeraude se détruit, l'opération est perdue, la couleur verte disparaît et fait place à une couleur brune foncée de bioxyde de chrome; si l'on chauffait davantage le mélange, si on le portait au rouge, la couleur brune passerait à son tour à une couleur bleuâtre, stable en présence de l'eau. En s'arrêtant au point convenable, lorsque la masse est devenue verte, et lavant à l'eau chaude pour emporter les sels solubles, on finit par avoir l'oxyde de chrome en poudre presque impalpable. Sa couleur s'approche de celle des feuilles naissantes, et par l'éclat ne le cède qu'au vert de Schweinfurt; elle se rapporte au vert du premier cercle de M. Chevreul. Le vert obtenu par ce procédé, débarrassé de toute trace de phosphate soluble, dégage de l'eau lorsqu'on le chauffe au rouge et devient brun, puis gris, redevient vert par refroidissement; mais sa teinte est alors grisâtre comme celle du sesquioxyde obtenu par la calcination du bichromate.

On peut admettre, quant à la nature de ce composé, que l'acide phosphorique y reste à l'état de combinaison. D'après une expérience de M. Camille Kœchlin, cette matière bouillie pendant plusieurs heures avec de l'acide arsénieux et de l'acide acétique faible, prend une nuance plus vive qui se rapproche de celle de l'oxyde qu'on obtient au moyen des dosages de M. Guignet, lorsque des lavages suffisamment prolongés ont éliminé tout l'acide borique. Il y a plus d'énergie dans l'acide phosphorique que dans l'acide borique; il n'est donc pas surprenant que sous l'influence de l'eau bouillante l'acide borique disparaisse, tandis que l'acide phosphorique résiste plus longtemps. Pour arriver à la constitution chimique du produit tel que nous l'avons formulé, c'est-à-dire de l'oxyde de chrome hydraté, on passe sans doute graduellement par l'intermédiaire de borates de plus en plus basiques, mais le terme final semble devoir n'être autre chose que de l'oxyde de chrome hydraté. Dans tous les cas, l'acide chlorhydrique élimine d'une manière complète l'acide borique et sans doute éliminerait l'acide phosphorique lui-même.

La méthode générale indiquée dans le brevet de M. Guignet comprend comme cas particulier la substitution à l'acide borique du phosphate d'ammoniaque. J'ai préparé des sulfates d'oxyde de chrome qui sont persistants et qui permettent de comprendre les phénomènes qui se passent au contact de l'eau chaude et des borates, phosphates et sulfates d'oxyde de chrome.

La même méthode doit nécessairement conduire à la préparation de quelques oxydes hydratés isomorphes avec l'alumine. J'ai depuis longtemps préparé l'hydrate de peroxyde de fer. Mais comme la nuance est loin de présenter la richesse et la valeur que prend l'oxyde de chrome dans ces conditions expérimentales, ces observations n'ont pas le même but d'utilité que lorsqu'elles portent sur l'oxyde de chrome. SALVÉTAT.

ENGRENAGES A COIN. Les propriétés des engrenages à coin reposent sur celles du coin pour accroître l'adhérence sans faire croître les pressions dans la même proportion.

Ainsi, si l'on veut conduire deux axes parallèles par le contact immédiat de deux poulies montées sur ces axes, on sait qu'il faudra, pour éviter les glissements, les presser fortement pour peu qu'il s'agisse de transmettre des forces quelque peu notables et, par suite, faire naître des frottements considérables sur les axes. Il n'en sera plus de même si, comme l'a proposé M. Minotto, l'on creuse dans la couronne extérieure de l'une des poulies une gorge tronconique dont la section soit un trapèze, et si on tourne la couronne de l'autre en forme conique (fig. 3526), de manière qu'elle puisse s'engager en partie seulement dans la gorge de la première.

3526.

Toutes les propriétés du coin reparaissent ici; c'est-à-dire qu'en raison de l'acuité plus ou moins grande de l'angle commun au vide et au plein des deux roues, une pression médiocre sur les axes pourra faire naître une très-grande pression au contact et, par suite, une adhérence ou engrènement moléculaire, en vertu duquel une roue pourra entraîner l'autre et surmonter la résistance qui s'opposera à son mouvement.

Le principe du système étant établi, cherchons à nous rendre compte des avantages ou des inconvénients de son emploi.

Du glissement. — Le caractère le plus remarquable de ce système d'engrenage, c'est que, par suite d'une variation dans les forces, un glissement peut avoir lieu. Cette propriété, qui le rend impropre à remplacer les roues dentées dans les systèmes où celles-ci ont surtout

pour objet d'assurer des rotations d'angles voulus, comme dans les appareils d'horlogerie, le rend au contraire extrêmement précieux pour les applications dans lesquelles la force résistante peut éprouver des variations considérables, cause perpétuelle de rupture avec les roues dentées. Cette similitude avec les systèmes d'embrayage, connus sous le nom de *cônes de friction*, doit être soigneusement observée et constitue une propriété importante du nouveau système.

Du frottement. — Il semble que le frottement de glissement qui s'exerce sur les faces en contact, surtout au delà des circonférences primitives, doit être une cause d'infériorité pour ce système; mais il est à remarquer que dans le pivotement instantané des surfaces de contact autour du point moyen qui définit les circonférences primitives, les parties les plus éloignées de ce point s'usent beaucoup plus vite que celles qui roulent seulement, et par suite la face du coin tend à prendre une forme convexe qui tend à réduire beaucoup la valeur du travail du frottement (fig. 3527).

D'après le calcul, le nouveau système offrirait une supériorité notable sur l'engrenage à dents, quand l'angle au sommet du coin demeure au-dessous de 20 degrés sexagésimaux.

3527.

De plus, l'auteur, M. Minotto, a observé que le graissage, qui diminue beaucoup le frottement, n'a que peu d'influence sur l'adhérence au contact, ce qui s'explique par l'expulsion presque complète de l'enduit interposé au point où s'exerce la plus grande pression.

De l'usure. — La rapidité de l'usure dans ce système d'engrenage, et la nécessité du rapprochement graduel des axes pour proportionner toujours la pression et l'adhérence à la résistance à surmonter, paraissent les obstacles les plus notables à l'adoption de ce système pour les grandes machines. Cette condition de rapprochement est parfois facile à remplir. Quant à l'usure, bien que l'auteur ait fait des expériences qui lui fassent admettre qu'elle est peu rapide, elle nous paraît la partie faible du système toutes les fois qu'il n'est pas possible de multiplier le nombre des roues placées sur les deux axes, ce que le tour permet d'exécuter avec facilité. De la sorte, la pression en chaque point de contact pouvant être toujours très-inférieure à celle pour laquelle la désagrégation du métal est rapide, on peut employer pendant longtemps ce système, pourvu que l'on puisse rapprocher les axes et que la gorge tronconique soit assez profonde pour correspondre à une usure considérable.

Au reste, M. Minotto, l'inventeur de ce système, a proposé, pour remédier à l'usure, l'emploi de disques constituant des roues par leur réunion à l'aide de boulons et entre lesquels on interpose une rondelle dont il est facile de varier l'épaisseur.

Toutefois, puisque la pression exercée au contact de deux roues d'engrenages à coin doit changer en raison des forces à transmettre par les roues, la distance des axes varie quelque peu en raison de ces pressions comme de l'usure du coin par le travail; or, en général, la position des axes d'un mécanisme doit être invariable, car chacun a la plus souvent à conduire diverses autres pièces. Cette condition limitait donc beaucoup la possibilité d'employer les engrenages à coin. M. Minotto y a remédié en employant des roues intermédiaires par une disposition analogue à celle des rouleaux de tension usités dans les transmissions de mouvement par courroies.

En munissant les deux axes, celui qui est conduit et celui qui conduit, chacun d'une roue à gorge, une roue à coin intermédiaire suffit pour effectuer la transmission de mouvement. Cette roue étant mobile dans le coulisseau qui la guide seulement de manière à ce qu'elle reste dans le plan des deux premières roues, elle pourra se déplacer au besoin, s'il se produit quelque usure, de manière à ce que le mouvement continue toujours à se transformer.

Mais c'est surtout dans l'analyse des positions les plus convenables que doit occuper la roue intermédiaire et de la faible charge qu'il suffit de lui faire supporter lorsqu'elle occupe ces positions, que M. Minotto a fait preuve d'une grande finesse d'observation, qu'il a montré un esprit exercé à lutter avec les problèmes les plus délicats de la cinématique. Supposons que la ligne des centres des roues soit horizontale et que la roue conductrice tourne de gauche à droite et soit située à gauche de la roue conduite, on voit facilement qu'une roue intermédiaire, placée en dessous de la ligne des centres ou sur cette ligne, n'agira qu'en raison de la pression exercée directement sur son axe par un poids ou un ressort, pour presser le coin dont son contour est formé dans les couronnes des deux roues, et que, par suite, ce poids sera considérable, s'il s'agit de grandes résistances à surmonter. Mais, si le centre de la roue intermédiaire est placé au-dessus de la ligne des centres, il n'en est plus ainsi. La roue conductrice, entraînant la roue intermédiaire, tendra à l'appliquer sur la roue conduite; il se produira un arc-boutement tendant à diminuer la longueur de la ligne qui joint les points de contact de la roue conique avec les deux roues à gorge, pour peu que son axe, comme on a le soin de le faire, puisse prendre du jeu, et la roue à conduire sera bientôt entraînée, bien que le poids dont l'axe de la roue intermédiaire est chargé soit peu considérable. Si l'on considère le triangle formé par les lignes qui joignent les deux points de contact de la roue intermédiaire entre eux et avec le centre de cette roue, et aussi la perpendiculaire abaissée de ce centre sur la ligne qui réunit les deux points de contact; si on appelle α l'angle près du contact, P la pression exercée sur la roue conique pour l'appliquer sur les autres roues, R son rayon, que l'on représente par R sin α, par la longueur de la perpendiculaire, la pression P, les deux rayons R représenteront les composantes qui exerceront, à l'aide de la roue formant coin entre les deux autres, les pressions donnant la résultante P. Le rapport de ces forces sera donc celui de $\frac{1}{2}$ R à R sin α; d'ou $\frac{R}{P} = \frac{1}{2 \sin \alpha}$.

On voit comment une faible pression peut suffire pour transmettre des efforts considérables, en faisant diminuer l'angle α, la valeur de $\frac{1}{2 \sin \alpha}$ devenant alors très-grande. On voit que la roue intermédiaire agit, en quelque sorte, doublement comme coin entre les deux roues à gorge.

Ce système n'est pas à retour, le sens du mouvement de la roue conductrice venant à changer, l'arc-boutement de la roue intermédiaire contre la roue à conduire ne se produit plus, et celle-ci, en général, n'aura plus que peu d'effet. M. Minotto propose de placer symétriquement deux roues intermédiaires, l'une en dessus, l'autre en dessous de la ligne des centres. Celle qui sert peu pour l'autre sens du mouvement que celui produit, occasionne peu de résistance, la pression qui l'applique sur les roues étant peu considérable, et le frottement est en raison de l'effet qu'elle produit pour aider au mouvement.

Les dispositions que décrit l'inventeur, pour maintenir dans le plan convenable les roues intermédiaires et les laisser libres de se déplacer latéralement et verticalement, nous semblent laisser quelque chose à désirer, et nous croyons que l'auteur ferait bien d'imiter les dispositions des rouleaux de tension qui se meuvent dans

un plan bien fixe, en tournant autour d'un axe et auxquels on donne facilement la pression voulue en faisant glisser le poids régulateur sur le levier qui le porte, qui devrait être recourbé pour la roue supérieure, droit comme un fléau de balance pour la roue intermédiaire placée à la partie inférieure. Or il importe beaucoup, dans cette nouvelle disposition, d'employer les pressions les moindres qu'il est possible; autrement les engrenages à coin perdraient leur avantage de fonctionner, en quelque sorte, comme des cônes de friction, de limiter les efforts à transmettre, et le glissement n'aurait plus lieu lorsqu'il se produirait accidentellement des actions trop considérables.

ÉPONGES MÉTALLIQUES. Les éponges métalliques, imitation de l'éponge de platine qui joue un grand rôle dans l'élaboration de ce métal, ont été créées industriellement par M. Chenot. On ne peut dire qu'il soit arrivé à un succès complet, car l'adoption de ses procédés eût complétement révolutionné l'industrie métallurgique, mais il est parvenu à des résultats extrêmement importants.

Étudions le cas le plus complexe auquel s'applique cette méthode, celui de la fabrication de l'acier fondu. Le traitement comprend quatre opérations principales : la réduction du minerai à l'état d'*éponge*, la *cémentation* de l'éponge, sa *compression* et sa *fusion*.

1° La réduction s'opère sur le minerai grillé et convenablement concassé, dans un fourneau prismatique de 13 mètres de hauteur muni de chauffes extérieures placées à 7 mètres du gueulard; sur cette hauteur de 7 mètres, le minerai soumis à une chaleur graduellement croissante subit une réduction exactement dans les mêmes conditions que dans la *cuve* d'un haut fourneau. Arrivé devant les chauffes, il est à peine au rouge cerise; le fer est entièrement réduit, mais la chaleur est insuffisante pour le fondre, ou même pour le fritter. Il forme une masse poreuse ou éponge métallique assez semblable à l'éponge de platine.

En continuant de descendre, l'éponge se refroidit lentement, et au défournement, elle doit être à peu près à la température ordinaire, sans quoi elle se réoxyderait immédiatement, à cause de sa nature éminemment pyrophorique. Le défournement se fait à certains intervalles, au moyen de dispositions ingénieuses ayant pour but d'empêcher l'établissement d'un courant d'air à travers le fourneau.

2° L'éponge obtenue passe à la cémentation. A cet effet, on la plonge dans un bain de résine, de goudron, ou d'une matière grasse quelconque, en opérant à chaud, si cela est nécessaire, pour obtenir un bain fluide, qui imbibe bien complétement l'éponge. On calcine à la chaleur seulement suffisante pour chasser l'excès de matière carburante introduite; on recueille accessoirement les produits liquides enlevés par cette calcination, et on a une masse, dans laquelle il s'est fixé et répandu très-uniformément une certaine quantité de carbone. On fait une seconde *cémentation*, s'il y a lieu, pour arriver à la dose convenable, ce qui offre quelque difficulté pour obtenir des produits réguliers.

3° L'éponge est alors broyée, puis comprimée très-fortement dans des moules sous diverses formes. Cette compression est indispensable pour ne pas avoir à opérer sur une matière trop encombrante et trop oxydable.

4° Enfin la matière comprimée, concassée par petits fragments, est mise dans des creusets et traitée comme à l'ordinaire. La seule différence est qu'à la coulée on a une certaine quantité de scories provenant des matières terreuses associées au fer dans le minerai, et que les opérations antérieures n'ont pas chassées. Ce laitier très-fluide surnage sur le bain, on le coagule en le refroidissant par l'addition d'un peu de sable graveleux et d'argile, et on l'enlève aisément avec la cuiller.

Si l'on compare le procédé nouveau à la méthode ordinaire, on y reconnaît les différences caractéristiques suivantes, qui constituent, selon nous, autant d'avantages.

Le fer réduit dans l'étage supérieur du fourneau n'est point amené à l'état de fonte, comme il l'est en descendant du ventre au creuset d'un haut fourneau, transformation qui entraîne une grande dépense de combustible, des frais de machine soufflante, et surtout charge le fer de matières nuisibles. Ces matières doivent ensuite être séparées dans l'affinage, lequel consomme encore beaucoup de combustible, et, procédant par oxydation, entraîne nécessairement un déchet considérable sur le fer lui-même. Enfin le fer en barres doit d'abord subir la cémentation, puis la fusion, opérations longues et dispendieuses et qui ne peuvent se faire dans les mêmes conditions d'homogénéité que lorsqu'on opère sur l'*éponge*.

Revenant à cette *éponge*, à la sortie du fourneau de réduction nous ferons remarquer qu'elle peut être assimilée à la loupe que l'on forme dans l'affinage ordinaire, ou, plus exactement, à celle que l'on forme dans les foyers à la catalane : c'est du fer avec la gangue du minerai interposée; qu'après l'avoir comprimée sans le cémenter, on la chauffe et on le martelle, on aura du fer métallique; qu'après l'avoir cémentée et comprimée, on la chauffe et on la martelle, on aura de l'acier ordinaire, qui correspondra à l'acier poule, mais avec plus d'homogénéité. Ce sera pour ainsi dire de l'acier poule *plusieurs fois raffiné*.

Tels sont les traits principaux des procédés métallurgiques de M. Chenot. Ils se pratiquent, sinon sur une très-grande échelle jusqu'à présent, du moins d'une manière courante et manufacturière.

Les produits obtenus sont très-bons.

Nous devons encore citer les dispositions ingénieuses à l'aide desquelles M. Chenot parvient : 1° à recueillir par son *trieur électro-magnétique* toutes les parties d'éponge métallique qui se mêlent au menu charbon à la sortie des charges par le bas du fourneau;

2° A opérer la compression de ses éponges, et au besoin de toute espèce de copeaux métalliques préparés pour le traitement ou pour des alliages;

3° A réaliser un avantage considérable dans beaucoup de cas, notamment pour la *fusion de l'acier*, en donnant à la cendre des cokes employés un degré de fusibilité tel, que les grilles soient toujours propres et dégagées de ces mâchefers visqueux qui, trop souvent, les encrassent, les corrodent et obstruent le tirage.

ÉQUIVALENTS CHIMIQUES. *Équivalents des corps simples.* — M. Dumas a repris, avec des soins tout particuliers, la détermination des équivalents chimiques des corps simples, en partie pour vérifier l'hypothèse de Proust, qu'ils devaient être des multiples exacts de l'hydrogène.

Parmi les corps qu'il a étudiés, vingt-deux ont des équivalents qui sont des multiples de l'hydrogène par un nombre entier :

Oxygène	8	Iode	127
Soufre	16	Carbone.	6
Sélénium	40	Silicium.	14
Tellure.	64	Molybdène . . .	48
Azote.	14	Tungstène . . .	92
Phosphore . . .	31	Lithium	7
Arsenic	75	Sodium.	23
Antimoine. . .	122	Calcium	20
Bismuth	214	Fer.	28
Fluor	19	Cadmium . . .	56
Brôme	80	Étain.	59

sept ont des équivalents qui sont des multiples de la moitié de l'équivalent de l'hydrogène :

Chlore	35,5	Nickel	29,5
Magnésium	12,5	Cobalt	29,5
Manganèse	27,5	Plomb	103,5
Baryum	68,5		

trois ont des équivalents qui sont des multiples du quart de l'équivalent de l'hydrogène :

Aluminium	13,75
Strontium	43,75
Zinc	32,75

Dans chacune de ces séries, les résultats individuels sont en général si rapprochés de la moyenne admise dans le tableau précédent, qu'on ne peut pas faire passer un des corps qu'il comprend d'une série à l'autre sans s'écarter considérablement de l'expérience.

Plus on multiplie les épreuves, plus au contraire le chiffre moyen s'en trouve confirmé.

Parmi les comparaisons que ces résultats permettent de faire, on remarquera la suivante :

Azote	14	Arsenic	75
Fluor	19	Brôme	80
Phosphore	31	Antimoine	122
Chlore	35,5	Iodo	127

On vo't qu'en ajoutant 108 à l'azote on obtient l'équivalent de l'antimoine, de même qu'en ajoutant 108 au fluor on obtient l'équivalent de l'iode ;

Qu'en ajoutant 61 à l'équivalent de l'azote on obtient celui de l'arsenic, de même qu'en ajoutant 61 à celui du fluor on obtient celui du brôme ;

Qu'en un mot, ces huit équivalents peuvent être placés sur deux droites parallèles, les ordonnées de la famille de l'azote, étant prolongées d'une quantité égale à 5, venant rencontrer la droite où sont placés les équivalents de la famille du fluor, sauf le phosphore et le chlore, qui sont séparés par 4,5 seulement au lieu de l'être par 5.

Tous les essais qui ont été tentés pour découvrir quelque cause d'erreur dans la détermination de l'équivalent de phosphore n'ont en d'autre résultat que de confirmer l'équivalent de M. Schrotter, c'est-à-dire 31.

On comprendra que ces résultats donnent lieu pour la classification des métaux à les ranger dans une table à deux entrées par séries assujetties à un double parallélisme, ce qui donne satisfaction d'ailleurs aux diverses analogies qui les unissent entre eux.

En effet, tent en les rangeant par familles naturelles, chacun d'eux se trouve placé à proximité de deux corps appartenant à deux familles voisines et rangés sur les deux droites les plus rapprochées de celle sur laquelle se trouve le métal pris pour terme de comparaison.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR. La théorie de Carnot, exposée par nous à l'article CALORIE, était un progrès important, un complément utile des travaux antérieurs ; toutefois elle était insuffisante lorsqu'il s'agissait des phénomènes de détente, la grande amélioration que la machine à vapeur a reçue de nos jours ; elle s'inspirait évidemment de la machine de Watt, fonctionnant surtout par l'effet du vide du condenseur. Aussi n'a-t-elle pu empêcher S. Carnot luimême de formuler quelques conséquences erronées, malgré l'admirable perspicacité qui lui avait fait voir partie de la vérité bien avant ses contemporains.

C'est à satisfaire à ce que cette théorie offre d'insuffisant, c'est à la compléter, que doivent aboutir les travaux qui, à bien juste raison, passionnent en ce moment nombre de physiciens : car bien des efforts convergent pour l'établissement d'une théorie qui, tout le fait espérer, sera un des plus beaux progrès que la science ait accomplis depuis longtemps.

Déterminer avec quelque exactitude l'équivalent mécanique de la chaleur (nous allons voir bientôt le sens de cette expression, qui dans les idées de Carnot répondrait au maximum théorique du travail de l'unité de chaleur), et relier entre eux, s'il est possible, les divers coefficients qui se rapportent aux modes d'action de la chaleur sur les corps, coefficients qui ont évidemment des relations mutuelles, puisqu'ils résultent de la nature intime d'un même corps : tels sont les progrès à accomplir aujourd'hui.

Exposons d'abord en quoi consiste la nouvelle théorie.

Nous avons dit comment M. Poncelet dédaisait le principe fondamental du bon emploi de la chaleur, de la conception du calorique comme fluide parfaitement élastique, sans inertie ni pesanteur, qui n'est plus admissible. En effet, elle a contre elle une curieuse expérience de Humphry Davy, qui, étant parvenu à fondre deux morceaux de glace en les frottant l'un contre l'autre (sans communication d'aucune chaleur extérieure), en avait tiré cette conclusion que : Les phénomènes de répulsion ne dépendent nullement de l'existence d'un fluide élastique particulier, en d'autres termes, le calorique n'existe pas et la chaleur consiste en un certain mouvement des particules des corps.

C'est en partant du phénomène du dégagement de la chaleur par le frottement, qu'un savant physicien allemand, M. J.-N. Mayer d'Helbronn, qui s'est livré le premier à de curieuses études philosophiques sur cette question, a eu la hardiesse d'en tirer le principe de la théorie mécanique de la chaleur.

Puisque le frottement anéantit le travail, et qu'il fait apparaître du calorique, il faut bien qu'il y ait *transformation* de l'un en l'autre : autrement, il y aurait en même temps effet sans cause et cause sans effet. Il donna le nom d'équivalent mécanique de la chaleur au travail mécanique correspondant à la semblable transformation d'une calorie en travail ; et dès 1842, par une détermination indirecte, non fondée sur des expériences spéciales, il avait cru pouvoir indiquer le chiffre 365 pour la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur, c'est-à-dire énoncer que le maximum théorique de travail que peut engendrer une calorie est de 365 kilogrammètres.

Nous avons montré dans l'Introduction que le principe de l'équivalent du travail mécanique et de la chaleur n'était qu'une conséquence directe d'un principe supérieur et incontestable, celui de la permanence des puissances naturelles dont les manifestations seules varient suivant la loi nécessaire d'équivalence. Nous n'y reviendrons pas ici.

M. Joule, savant physicien anglais, a cherché à contrôler par une expérience directe la nouvelle théorie, en ayant pour cela recours à la compression des gaz.

Tandis que, dans l'ancienne théorie, on admet qu'un gaz dilaté renferme plus de chaleur que le même gaz réduit à un moindre volume, dans l'hypothèse où l'on admet l'existence de l'équivalent mécanique les choses se passent tout autrement : la quantité de chaleur contenue dans un gaz ne dépend plus que de sa température et de l'espèce de matière dont il est formé. Quant au calorique qui se dégage pendant la compression, il résulte de la transformation du travail extérieur qu'il a fallu dépenser ; réciproquement, le froid produit par la dilatation n'indique pas que la chaleur se soit réfugiée ou cachée dans l'intérieur du gaz ; mais qu'elle s'est échappée sous forme de travail restitué, et pour prouver qu'en effet les changements de volume sont pour rien dans ces évolutions de chaleur, il suffisait d'imaginer un moyen de provoquer de pareils changements sans complication d'un travail quelconque. Voici l'expérience par laquelle M. Joule a réalisé ces données ; elle est d'une simplicité qui ajoute encore à sa valeur et à son importance. Elle consiste à placer dans un même calorimètre deux récipients de même capacité, à parois inextensibles, et qui

communiquent ensemble par un tube à robinet; dans l'un on a fait le vide, et dans l'autre on a refoulé l'air à 22 atmosphères; l'ouverture du robinet, en permettant à un moment donné la libre circulation entre les deux vases, détermine l'expansion du gaz dans un espace double. Le thermomètre ne bouge pas. La température s'est bien abaissée dans le premier récipient en même temps qu'elle s'élevait dans le second, ainsi que M. Joule l'a constaté directement; mais il y a eu compensation exacte; et l'expérience étant faite dans un calorimètre, il n'y a ni dégagement, ni consommation de chaleur. C'est une confirmation précise et directe de la nouvelle théorie.

Il faut bien remarquer que la notion de transformation de chaleur en travail n'infirme nullement les principales déductions tirées des principes de S. Carnot; elle complète, au contraire, son œuvre, et permet de remplacer la partie défectueuse qui y subsistait encore par quelque chose de très-satisfaisant.

Remarquons, en effet, que les propositions fondamentales de S. Carnot dépendent uniquement des rapports entre la chaleur et les pressions, et nullement de ce que devient la chaleur. Il importe peu que de sensible elle devienne latente ou qu'elle disparaisse par sa transformation en travail; cela ne change rien aux conséquences.

La conclusion principale du travail de Carnot est même une conséquence forcée du principe d'équivalence des transformations du travail et de la chaleur. C'est ainsi que M. Grove, dans son ouvrage (*Corrélation des forces physiques*) l'établit par un raisonnement inspiré par celui de S. Carnot, réduit au dernier degré de simplicité :

« On ne peut pas, dit-il, en changeant le mode d'application mécanique de la chaleur, ou la matière par l'intermédiaire de laquelle on la fait agir, faire produire par une source donnée plus de chaleur qu'elle n'en possède originairement. Or, en admettant que la chaleur est convertie tout entière en puissance mécanique, s'il pouvait y avoir, dans un cas, surplus de puissance, ce surplus de puissance étant converti à son tour en surplus de chaleur, il y aurait *création* de force. Par une raison analogue, il n'y aurait pas non plus déficit de puissance, parce que ce déficit correspondrait à un anéantissement de force. »

Ce raisonnement de M. Grove, fondé toujours sur la démonstration par l'absurde, sur l'impossibilité du mouvement perpétuel, de la création de force *de rien*, fixe bien le principe fondamental, mais ne fait pas bien apprécier les conséquences importantes pour la théorie de la machine à vapeur que S. Carnot a su en déduire.

En résumé, grâce aux recherches intéressantes de S. Carnot d'une part, et de MM. Mayer et Joule de l'autre, la théorie dynamique de la chaleur peut être considérée comme reposant sur deux propositions fondamentales :

PROPOSITION DE S. CARNOT. — *On obtient tout le travail mécanique que peut produire la chaleur, si celle-ci est entièrement employée à produire des changements de volume ou, ce qui est la même chose, si on ne met jamais en contact des corps de température différente. Ce maximum théorique appartient à la chaleur seule et est indépendant de la nature du corps échauffé.*

PROPOSITION MAYER ET JOULE. — *Le travail mécanique peut se transformer en chaleur, et inversement la chaleur en travail mécanique. Cette transformation s'opère dans un rapport fixé par l'équivalent mécanique de la chaleur.*

L'équivalent mécanique de la chaleur (appelé ci-dessus maximum théorique) est, pour une calorie, un certain nombre E de kilogrammètres que peut produire cette calorie, et, réciproquement, un travail mécanique de E kilogrammètres peut, théoriquement, produire une calorie.

La détermination exacte de l'équivalent mécanique de la chaleur est donc le point de départ essentiel de toute application de la science.

§ 1er. DÉTERMINATION DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR PAR LA MESURE DU TRAVAIL ENGENDRÉ PAR UNE CALORIE.

Observations préliminaires. — Pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur par le travail qu'elle engendre, je chercherai la valeur qui peut être calculée pour les diverses formes que peut prendre la matière, d'après les données expérimentales acquises à la science et les expériences qui ont été faites. De tous ces résultats, il nous sera permis, nous croyons, de conclure une valeur approchée, qui ne pourra être que peu modifiée par des expériences ultérieures.

Mais avant de passer aux déterminations que semblent rendre possibles les données physiques que l'on possède sur les gaz, les solides, les liquides, les vapeurs, il importe de faire une remarque essentielle.

L'équivalent mécanique ne peut être déterminé que si on tient compte de tout le travail de la chaleur, de la totalité des actions tant *intérieures* qu'*extérieures* qu'elle produit sur les corps. Les actions intérieures sont celles qui sont équilibrées par l'attraction que les molécules des corps exercent les unes sur les autres, dont l'intervention produit un effet de la chaleur. Sans l'analyser, on peut établir comme conséquence nécessaire de la nature de ces actions intérieures et de l'attraction moléculaire, que, si un corps, en partant d'un certain état initial et en parcourant une certaine série de modifications, revient à son état primitif, les quantités de travail intérieur, correspondant aux forces moléculaires équilibrées par la chaleur, sont entièrement restituées par le travail égal de celles-ci lorsque le corps revient à son état primitif.

Dans les solides, les molécules étant réunies par des forces attractives que révèle leur cohésion, leur résistance à la rupture, l'action de la chaleur qui dilate les solides est de détruire le travail de ces forces. Une grande part du travail de la chaleur se passe en actions intérieures, et, par le refroidissement, les forces attractives reparaissant pourraient communiquer cette part du travail produit par la chaleur. Si les mouvements moléculaires venaient agir sur des systèmes faisant naître une traction lors du refroidissement, on pourrait théoriquement obtenir quelques actions extérieures utiles, et combiner des machines dont la possibilité pratique est douteuse.

Les actions extérieures sont celles qui ne s'annulent pas par des actions moléculaires de sens contraire. Ainsi les gaz étant formés de molécules qui exercent une pression sur les parois des vases qui les renferment, l'effet de la chaleur ne pourra être que d'accroître cette pression lorsque la température augmente; aussi le refroidissement ne pourra faire naître des actions inverses des premières. Dans ce cas, le travail de la chaleur ne donnera lieu qu'à des actions extérieures facilement utilisables qui correspondront au travail de presque toute la chaleur employée; celles-ci entraîneront à des consommations de la totalité de la chaleur sous forme de travail mécanique, si on poursuit l'action de manière à produire une dilatation suffisante.

Dans les liquides, les deux genres d'effets se trouvent réunis. La chaleur servant à échauffer un liquide ne produit qu'une action minime de dilatation; mais appliquée en quantité suffisante elle fait naître un travail considérable et le réduit en vapeur. C'est là la différence qui existe entre de l'eau à 100° et de la vapeur d'eau à 100°, et qui correspond à une grande quantité de chaleur, comme à une grande quantité de tra-

vail, sans changement de pression ni de température. Nous ne reviendrons pas ici sur cette question du changement d'état des corps par l'action de la chaleur, que nous avons étudiée à CHALEUR LATENTE, dans le cas où se manifeste de la manière la plus claire la transformation de la chaleur en travail mécanique.

Pour bien préciser les notions qui précèdent et qui, à cause de leur nouveauté, sont assez délicates, nous y reviendrons encore en quelques mots.

La propriété reconnue plus haut aux actions intérieures fournit le moyen de distinguer les actions intérieures des actions extérieures, dans les circonstances où il pourrait y avoir doute. Une action est intérieure lorsque le refroidissement produit un effet inverse de celui engendré par l'échauffement; l'action est extérieure lorsqu'il n'en est pas ainsi. En examinant les deux cas les plus saillants, nous dirons :

L'action du passage de la chaleur à travers un gaz permanent est en totalité extérieure; car lorsque celui-ci se refroidit, il n'éprouve par lui-même aucun changement de volume; il remplit toujours tout l'espace dans lequel il est renfermé. Il n'y a pas d'effet moléculaire inverse de celui produit par la chaleur.

L'action du passage de la chaleur à travers un solide est de sa nature presque en totalité intérieure; car, par le refroidissement, il se fait une contraction précisément égale à la dilatation qu'avait produite l'échauffement, et l'écartement moléculaire ayant consommé de la chaleur, le rapprochement moléculaire, source d'actions énergiques, la restitue.

§ II. MESURE DU TRAVAIL MÉCANIQUE PRODUIT PAR L'ACTION DE LA CHALEUR.

1. *Sur des gaz permanents.*

L'action de la chaleur sur les gaz étant en totalité extérieure, tout appareil qui les renferme forme en quelque sorte une machine à gaz pouvant utiliser tout le travail théorique de la chaleur si on vient à les chauffer, et les résultats connus doivent permettre de mesurer tous les éléments du phénomène.

Nous ne répéterons pas ici ce calcul que nous avons donné à l'article CALORIE. Nous ferons seulement remarquer qu'il conduit à la valeur $E = 113$ en employant le chiffre 0,324 pour valeur de la chaleur spécifique de l'air déterminée par Delaroche et Bérard. Le calcul corrigé par l'emploi du chiffre plus exact 0,2630 obtenu par M. Regnault donne $E = 125$.

Je renvoie à l'article CHALEUR SPÉCIFIQUE DES GAZ pour montrer que le chiffre $\frac{C}{c'} = 1,421$, qui sert à obtenir par les calculs proposés successivement par plusieurs savants une valeur théorique $E = 414$ est sûrement erroné.

Je rapporterai brièvement ce calcul proposé successivement par MM. Clausius, Person, Bourget, Combes, etc., qui, fondé sur le rapport des chaleurs spécifiques des gaz à pression constante et à volume constant auquel Dulong était arrivé à l'aide d'une hypothèse, n'aurait jamais dû être considéré comme ayant grande valeur avant que la déduction et l'expérience eussent permis d'établir d'une manière certaine que ce rapport était inadmissible.

$C = 0,2377$ étant la chaleur spécifique de l'air à pression constante, c' celle à volume constant, si $\frac{C}{c'} = 1,421$ était exact, on aurait $c' = 0,1678$, ce qui donnerait pour l'échauffement de 1 mètre cube 1,293 kil. d'air, dans les deux cas, les quantités de chaleur 0,2163 calorie et 0,3073 calorie, dont la différence est 0,091 calorie. L'expérience ayant fait reconnaître que la chaleur spécifique de l'air est indépendante de sa température et de sa densité, on en conclut que l'air échauffé de 1 degré centigrade, dans les deux circonstances indiquées, *retient la même quantité de chaleur*. L'excès de chaleur dépensé dans le cas où l'on échauffe l'air à pression constante est, par conséquent, l'équivalent du travail mécanique dû à la dilatation de l'air, travail qui a été nul dans l'autre cas où *l'air conservait son volume primitif*. Or l'air se dilate de 0,00365 de son volume à 0 degré pour une élévation de 1 degré centigrade de sa température; le travail mécanique dû à sa dilatation est donc $10330 \times 0,00365 = 37,7045$ kil. mèt. pour un mètre cube. Le rapport de ce travail à la quantité de chaleur qui l'a produit, et ne se retrouve plus dans l'air après sa dilatation ou l'équivalent mécanique, serait donc $\frac{37,7045}{0,091027} = 414$ kil., si ce calcul curieux ne reposait sur une hypothèse tout à fait erronée.

2. *Sur les solides.*

Nous avons complété, à l'article CHALEURS SPÉCIFIQUES, l'étude de cette question commencée à l'article CALORIE, et nous avons vu qu'elle nous conduisait à une détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. Le chiffre 136 obtenu pour la valeur de cet équivalent mécanique, par l'emploi de coefficients d'élasticité, de puissances virtuelles déterminées à l'état statique, me paraît avoir une grande valeur. Tous les chiffres qui servent à le calculer résultent d'expériences faites avec le plus grand soin, sans aucun élément hypothétique, et les efforts calculés se produisant le long du petit chemin fixé par le coefficient de dilatation, et par suite dans les limites d'élasticité, doivent être considérés comme constants.

3. *Sur les liquides et les vapeurs.*

Les liquides se dilatant par la chaleur, si cet effet était de même nature que la dilatation des solides, on pourrait établir une équation semblable à celle obtenue pour les solides, qui devrait fournir une détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. V étant le volume du liquide, d sa densité, P la pression que pourrait surmonter sa dilatation, D cette dilatation pour l'unité de volume, C la chaleur spécifique pour l'unité de poids, on aurait

$$VDP = VdCE \text{ ou } DP = dCE,$$

qui permettraient de calculer E, si P était connu pour les principaux liquides comme le sont les autres quantités qui entrent dans l'équation.

On pourrait croire que ce terme P doit avoir un rapport intime avec la compressibilité des liquides, qu'on devrait faire de celle-ci l'usage que nous avons fait de l'élasticité des solides; mais il est facile de reconnaître qu'il n'en est rien. L'incompressibilité presque totale des liquides ne résulte pas de la résistance opposée par des forces moléculaires, mais de ce qu'aux températures où ils ne donnent pas de vapeurs ayant une tension appréciable, leurs molécules n'ont pas d'action les unes sur les autres; elles transmettent seulement les pressions sans engendrer de travail moléculaire sensible. Aussi, dans les expériences sur la compression des liquides, n'a-t-on jamais constaté pour les plus grandes charges le dégagement de quantités de chaleur appréciables, et M. Regnault, dans des expériences très-délicates, a pu s'assurer qu'une compression de 10 atmosphères ne produisait pas un échauffement de $\frac{1}{20}$ de degré centigrade.

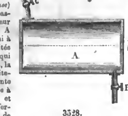
On pourrait toutefois obtenir ces valeurs de P à l'aide de l'appareil d'Œrsted, qui sert à étudier la compressibilité des liquides. Il suffirait d'observer les résistances à la compression à diverses températures, de manière à atteindre le point où s'opérerait la compensation exacte entre l'effet de la chaleur et la compression, ce qui donnerait la valeur de l'effort qui

s'opposerait alors à la dilatation. D'après les éléments connus de l'équation, elle correspondrait à des efforts considérables.

Jusqu'à de semblables expériences (qui se rapporteraient au liquide donnant des vapeurs et par suite ne peuvent pas fournir une détermination résultant de la nature des liquides), l'équation ci-dessus ne peut servir à déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur; mais celui-ci étant connu, elle permet de déterminer P, quantité qu'il peut être intéressant de considérer, pour comparer la constitution intime de divers fluides à diverses températures, pour lesquelles on connaîtra la valeur des termes D, d, C.

Vapeurs. — Une expérience de M. A. Hirn est venue confirmer de tout point le mode de raisonnement employé à l'article MACHINE A VAPEUR, démontrer expérimentalement un principe qui nous paraissait indispensable pour l'explication des faits. Elle est tout à fait capitale et nous devons la consigner ici.

Il a vu (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*) que si l'on fait passer de la vapeur dans un tube A (fig. 3528), garni à ses deux extrémités de deux verres qui se correspondent, la vapeur est parfaitement transparente tant qu'elle passe à travers le tube, et aussi lorsqu'on ferme les robinets de sortie, puis d'entrée. Si, alors, on vient à ouvrir brusquement le robinet de sortie de la vapeur dans l'air, il se produit instantanément un brouillard très-épais. D'où cette conséquence que, par la détente, il se produit de l'eau précipitée, que la vapeur qui se détend reste toujours saturée. Les chiffres de M. Regnault, qui indiquent que la vapeur contient d'autant plus de chaleur qu'elle est à une pression plus élevée, ne prouvent pas, comme on l'avait conclu à tort dans la manière de raisonner qui était admise jusqu'ici, que dans la détente la vapeur demeurait surchauffée. La détente entraîne une consommation de chaleur telle qu'il se produit non-seulement une diminution de température, de pression, comme pour les gaz, mais, de plus, précipitation d'eau; expérience qui, soit dit en passant, montre toute l'importance du rôle des enveloppes, qui ont pour fonction essentielle de vaporiser l'eau précipitée.



3528.

Une seconde observation également essentielle pour l'intelligence des phénomènes, c'est que l'action directe n'entraîne pas de consommation de chaleur dans la vapeur chassée hors de la chaudière, tandis que cet effet se produit, suivant la loi d'équivalence, lors de la détente; et bien que, par suite de la formation de la vapeur et de l'accroissement de volume qui en résulte, la travail produit puisse être considérable, la vapeur (considérée seulement dans le cylindre et indépendamment de l'effet de détente qui l'a fait arriver de la chaudière) conserve après l'action directe la chaleur déterminée par les expériences de M. Regnault, par la condensation qui ramène l'eau à l'état primitif. Au contraire, la vapeur une fois formée se comporte comme un gaz, et toute la chaleur qui lui est incorporée agit extérieurement, peut disparaître par suite en produisant un travail lors de la détente. Si, par ce mode d'action, on fait refroidir la vapeur, celle-ci agit comme source de chaleur pour la partie non condensée, et toute celle qui lui a été communiquée peut être consommée par un travail extérieur, peut disparaître après avoir été dégagée d'abord par le retour de la vapeur à l'état primitif.

M. Hirn a démontré directement, par expérience, qu'il en est ainsi, et on le comprend facilement en analysant comment les choses se passent, quand la vapeur est en communication avec la chaudière, on en est séparée. Dans le premier cas, c'est une action de détente de toute la masse contenue dans la chaudière qui pousse une petite partie et la fait agir par action directe. Il se produit là une détente qui entraîne une consommation difficile à constater expérimentalement, et à laquelle fournit aussitôt l'action du foyer. Ce n'est que la consommation de la chaleur renfermée dans la vapeur que l'on peut suivre expérimentalement dans le second cas, lorsque se produit la détente.

Mais quelle est la loi du refroidissement produit par la détente? Nous n'avons aucune donnée à cet égard, mais il paraît tout à fait évident à *priori* qu'une vapeur, dans le voisinage de son point de liquéfaction, doit dégager beaucoup plus de chaleur, pour la compression d'une même fraction de son volume primitif, qu'un gaz permanent, qui est essentiellement une vapeur surchauffée, par suite dans un état de dilatation très-grande. Comme, d'un autre côté, la chaleur spécifique de la vapeur d'eau est bien plus grande que celle d'un gaz simple (elle a été trouvée égale à 0,45 par M. Regnault), qu'elle est sensiblement double de celle de l'air, il semble qu'il faudrait une quantité double de chaleur pour faire varier sa température de 1°, et sans la première considération nous devrions remplacer $\frac{1}{100}$ par $\frac{2}{100}=\frac{1}{50}$. Ne sachant pas comment ces deux éléments se balancent, ce qui serait nécessaire pour le calcul que nous nous proposons ici, nous conserverons le chiffre de $\frac{1}{100}$, que nous avons admis pour l'air, pour la vapeur à la pression atmosphérique, et cela surtout parce qu'il se vérifie passablement par les seules expériences que nous possédions et dont nous parlerons plus loin.

Ceci établi, nous pouvons entreprendre de calculer le travail théorique de la vapeur d'eau, en analysant les divers faits qui se passent simultanément lors de la détente de la vapeur, savoir sa diminution de pression et son refroidissement par l'effet de sa dilatation, son réchauffement par la précipitation de partie de la vapeur, le passage de celle-ci à l'état vésiculaire et le dégagement de sa chaleur latente.

Nous partons pour ce calcul de la pression atmosphérique. Pour une température et une pression plus élevée, le résultat serait sans doute peu différent, le produit du volume de la vapeur par la pression variant lentement, comme la quantité de chaleur qu'elle renferme.

Si le volume *v* de vapeur qui se détend devient 2*v*, la chaleur consommée par cette dilatation sera pour 100 fois $\frac{1}{100}$, et pour 1 kilog. $1,70 \times 100 \times 0,45 = 76,50$ calories, 0,45 étant la chaleur spécifique de la vapeur d'eau. La quantité de vapeur condensée qui dégagera la chaleur servant à réchauffer la vapeur sera $\frac{76}{634}=0,12$ de la vapeur qui se détend. Les choses se passant comme si cette quantité se condensant s'opposait à l'abaissement de la température de la vapeur, qui toujours saturée ne varie plus qu'en raison de la pression.

En vertu de la loi de Mariotte, la pression étant réduite à moitié par la détente d'un volume égal à son volume primitif et la quantité de vapeur de 0,12 par la condensation, n'est donc plus que $\frac{1}{2}(1-0,12) \times 1,030$ en cent. carré $= 0,45$. Cette pression est celle de la vapeur saturée à 70°, laquelle renferme, d'après M. Regnault, $606 + 0,305 \times 77 = 619,5$ calories. Il y a donc $636 - 619,5 = 16,5$ calories de

moins, nécessaires pour constituer la vapeur saturée à moindre pression, ce qui fait qu'il ne se produit qu'une condensation en réalité moindre que ne l'indique le calcul ci-dessus; mais il n'y a pas à tenir compte de cet effet qui ne modifie pas le travail produit, si on veut appliquer la loi de Mariotte au calcul de la détente.

Pour le nombre de calories consommées par la détente et la dilatation du gaz, le travail correspondant au doublement de volume étant, pour un mètre cube, en partant de la pression atmosphérique, et en suivant la loi de Mariotte (voir à MACHINE A VAPEUR la table donnant le travail de 1 mètre cube pour diverses détentes), 17496 — 10330 = 7166, sera pour le cas actuel $7166 \times 1^m,70 \left(1 - \frac{0,12}{2}\right) = 10720$ kilog. mèt

Le travail par calorie sera donc $\frac{10720}{76,5} = 149$ calories, valeur approchée de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Expériences directes avec la machine à vapeur.

La machine à vapeur, comme toute machine à feu, doit fournir le moyen d'obtenir expérimentalement, et non plus par l'utilisation des données physiques connues incomplétement dans le cas actuel, une valeur des éléments du travail dû à la chaleur, et de plus fournir la confirmation directe des conceptions théoriques, de l'exactitude de la notion d'équivalent mécanique de la chaleur. En effet, en suivant le travail d'une machine à feu, d'une machine à vapeur, on pourrait mesurer la chaleur qui en sort par le condenseur, et celle dispersée extérieurement par le refroidissement, la comparer avec la quantité fournie par le foyer, et mesurer en même temps le travail produit par la machine. Si la quantité de chaleur qui disparaît dans la machine diminue proportionnellement au travail produit, le rapport de ces deux quantités sera la valeur même de l'équivalent mécanique de la chaleur, en même temps que le phénomène même prouvera l'exactitude de la nouvelle théorie, la réalité de la transformation de la chaleur en travail.

Ces expériences peuvent être faites de deux manières.

La première consisterait à employer une machine de petites dimensions, pour laquelle tous les éléments du calcul s'évalueraient avec grande facilité. Le chauffage au gaz de la chaudière, l'évaluation des résistances passives à l'aide de la manivelle dynamométrique (la machine étant assez petite pour qu'on puisse le faire marcher à bras, sans vapeur), et enfin l'emploi du travail produit pour faire surmonter à la machine une résistance constante, consistant, par exemple, à élever à une certaine hauteur l'eau du condenseur: tels sont les éléments qui faciliteraient l'étude des phénomènes qui se passeraient dans une petite machine pouvant permettre des détentes de 15 à 20 fois le volume primitif. Toutefois, le faible poids de la vapeur employée, et par suite l'influence du refroidissement extérieur, dont l'effet serait comparable à la quantité de chaleur à mesurer, rendrait ces observations, que nous n'avons pu encore tenter, peut-être inférieures à celles dont nous allons parler et que nous devons encore à l'ingénieux M. Hirn du Logelbach. Elles auraient toutefois une véritable importance à cause de la possibilité de calculer exactement la chaleur produite dans la foyer, ce qui ne se fait jamais et force à se contenter de l'évaluation de la quantité de vapeur saturée plus ou moins chargée d'eau produisant par action directe une fraction plus ou moins grande du travail total, d'où autant de difficultés pour parvenir à des résultats précis.

La seconde manière d'opérer consiste à suivre pendant longtemps les circonstances du travail de puissantes machines. La grandeur des machines, et surtout la longue durée des observations, amoindrissent les variations qui peuvent se produire, et permettent à un habile observateur d'obtenir des résultats un peu exacts, parce que les chiffres sur lesquels on opère sont assez grands. En tous cas, nous n'avons à ce jour d'observations que dans cette voie; elles suffisent, ce nous semble, pour la vérification dont nous avons besoin. Elles prouvent d'abord parfaitement la disparition d'un nombre considérable de calories par la détente, et par suite la réalité de la loi physique due aux recherches des savants; de plus, elles fournissent une détermination de l'équivalent de la chaleur, par expérimentation directe.

Avant d'entrer dans le détail des modes d'observation adoptés pour ces expériences, nous emprunterons à M. Hirn le tableau qui les résume. Elles ont été faites avec : une machine de Watt, à un cylindre; une machine de Wolf, à deux cylindres; avec la vapeur saturée; avec la vapeur surchauffée jusque vers 250°.

La difficulté des observations de phénomènes aussi complexes est facile à apprécier, et on comprend aisément tous les soins nécessaires pour arriver à quelque précision. Nous renverrons au mémoire de M. Hirn les personnes qui voudront connaître en détail ces expériences (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, n°s 138 et 139. 1857). Nous n'en dirons que quelques mots.

La première condition à remplir pour de semblables observations, qui doivent nécessairement durer assez long temps, c'est que les déterminations prises en un instant s'appliquent au moment suivant; ce qui suppose notamment, par rapport à la consommation de vapeur, que la machine marche toujours aux mêmes pressions, détentes, vitesses. M. Hirn y parvenait grâce à la constance des résistances et à l'habileté des chauffeurs. En pesant la quantité d'eau injectée dans la chaudière et nécessaire pour maintenir égaux le niveau final et initial de celle-ci, on avait la consommation d'eau et de vapeur, en tenant compte toutefois de l'eau enlevée à l'état vésiculaire dans une proportion déterminée par des expériences préliminaires.

La quantité de chaleur contenue dans un poids donné de vapeur saturée est bien connue aujourd'hui depuis les travaux de M. Regnault; c'est la connaissance précise de cette quantité qui seule a rendu possible le travail de M. Hirn. On sait qu'elle est 606 + 0.305 T, à saturation, et qu'il faut ajouter à ce terme 0,45 (T'—T) pour tenir compte, s'il y a lieu, d'une surchauffe à la température T'.

L'observation des pressions dans le cylindre a bien démontré la grande réaction des parois sur le refroidissement de la vapeur, parois refroidies par l'absorption de chaleur due à la détente et à la condensation de la vapeur. On voit que dans le petit cylindre de la machine de Wolf, où le travail s'effectue toujours à pression pleine, la pression est toujours sensiblement la même que dans la chaudière, et que pour la machine de Watt, au contraire, la différence est toujours considérable et atteint un quart. Cela confirme les résultats des expériences faites sur les enveloppes, et explique bien leur utilité.

L'eau du condenseur était versée dans des vases jaugés, ce qui permettait, par un calcul bien simple et à l'aide de quelques observations thermométriques, de connaître la quantité de chaleur rejetée par le condenseur.

Le travail total de la machine était connu tant par des expériences au frein que par la substitution à la machine à vapeur de turbines dont le travail était bien connu (méthode analogue à celle des doubles pesées, heureusement imaginée par M. Hirn); enfin le rapport de l'action directe à la détente pouvait se déduire de la mesure des courbes fournies par l'indicateur de Watt,

ESPÈCE de la MACHINE.	Détente.	PRESSION Dans la chaudière.	PRESSION DANS LE CYLINDRE Avant la détente.	Après la détente.	Après la condensation.	Force en chevaux.	Vapeur par heure et par cheval.	Houille par heure et par cheval.	Température de la vapeur.	Calories de la vapeur envoyée au cylindre; vapeur du cylindre, eau vésiculaire, action de l'enveloppe, frottement du piston, moins perte par les parois.	Calories reçues par l'eau injectée et correspondant à un coup de piston.	Différence ou calories disparues.	Travail dû à la détente pour un coup de piston.	Équivalent mécanique.	Calories disparues par kilog. de vapeur.
VAPEUR SATURÉE.															
(3) 1 Cylindre	1 : 3,4	4a,5	3,35	1,2	0,25	102	15k,64	3,51	149°	292,5	256	36,50	5,502 km	151	77
(5) 1 Cylindre	1 : 5,2	4,5	3,12	0,8	0,17	»	»	»	149°	214,1	191,7	22,40	»	»	60
(7) 2 Cylindres.	1 : 4,3	3,75	3,7	0,81	0,3	102	12k,50	1,92	143°	264,5	229,1	35,4	5,646	159	85
VAPEUR SURCHAUFFÉE À 225 OU 240.															
(4) 1 Cylindre	1 : 3,4	4,5	3,85	1,1	0,18	130	9k,6	1,77	240°	254,3	213,6	40,7	5,111	126	105
(6) 1 Cylindre	1 : 5,2	4,5	3,62	0,7	0,16	94	9k,2	»	240°	176,3	150,8	25,5	5,518	177	95
(8) 2 Cylindres.	1 : 4,3	3,75	3,7	»	0,2	107	10k	1,60	215°	240,4	210,3	30,1	6,452	204	71
(11) 2 Cylind. Enveloppe vide.	1 : 4,3	3,75	3,7	»	0,2	88	11k,7	»	214°	241,5	204	37,50	4,521	120	100
(12) id. Enveloppe pleine de vapeur saturée à 3a,75. . .	1 : 4,3	3,75	3,7	»	0,2	102	9k,52	»	225°	236,1	195	33,60	5,646	165	97

élément essentiel, puisque, ainsi que je l'ai dit plus haut, ce n'est que la détente qui fait disparaître la quantité de chaleur que l'on peut mesurer en bornant ses

observations à la vapeur reçue dans le cylindre de la machine.

Ces expériences confirment pleinement la théorie en montrant la rapidité de l'absorption, de la consommation de la chaleur qui monte à 105 calories par kilog. de vapeur pour une détente dans un rapport de 3, 4 à 1 (expérience 4), soit 120 pour 4 à 1; c'est un peu plus que ce que nous avons trouvé, en admettant $\frac{1}{266}$ pour l'accroissement du volume qui produit un abaissement de température de 1°, qui donnerait plus pour deux doublements successifs de volume, le premier donnant 76,5 et le second une quantité sans doute moindre, un total un peu supérieur à 120. La différence est dans les limites des erreurs d'observation, puisque nous voyons cette quantité varier dans ces expériences de 77 à 105 pour une même détente.

La moyenne des valeurs de l'équivalent mécanique de la vapeur que fournissent les déterminations de M. Hirn est 157, approximation un peu grossière peut-être, mais d'un grand intérêt. Le résultat obtenu fait le plus grand honneur à l'éminent observateur qui a le premier su reconnaître et constater expérimentalement, dans la pratique de la machine à vapeur, les conséquences de la théorie la plus délicate.

Si l'on prend les valeurs extrêmes des déterminations de M. Hirn, E se trouve varier de E = 125 à E = 204.

Chaleur des corps organisés.

Nous terminerons ces déterminations de l'équivalent mécanique du travail de la chaleur à l'aide du travail produit par celle-ci, par une induction qui nous paraît offrir quelque intérêt.

On sait que la vie, chez l'homme, est entretenue par la respiration, véritable combustion du carbone des substances servent à la nutrition, source de la chaleur du corps humain, et que cette chaleur est en rapport nécessaire avec le travail mécanique que l'homme peut exercer. Il s'agit évidemment ici d'un appareil de combustion, infiniment supérieur à ceux que nous pouvons employer dans l'industrie, ne donnant pas les pertes relativement très-considérables qu'on ne peut éviter avec nos meilleurs foyers et pouvant produire, pour une même combustion, une quantité de travail bien plus considérable que la machine à feu la plus parfaite.

Cet aperçu n'a pas échappé à M. Dumas, qui dit (*Statique chimique des êtres organisés*) : « Pour monter au sommet du mont Blanc, un homme emploie deux journées de douze heures. Pendant ce temps, il brûle en moyenne 300 grammes de carbone ou l'équivalent d'hydrogène. Si une machine à vapeur s'était chargée de l'y porter, elle en aurait brûlé 1,000 ou 1,200 pour faire le même service. Ainsi, comme machine empruntant toute sa force au charbon qu'il brûle, l'homme est une machine trois ou quatre fois plus parfaite que la plus parfaite machine à vapeur.

« Nos ingénieurs ont donc encore beaucoup à faire, et pourtant ces nombres sont bien de nature à prouver qu'il y a communauté de principes entre la machine vivante et l'autre; car si l'on tient compte des pertes inévitables dans les machines à feu, et si soigneusement évitées dans la machine humaine, l'identité du principe de leurs forces respectives ressort manifeste et évidente aux yeux. »

Dans un calorimètre, 1,000 grammes de charbon produisent 8,000 calories, 300 grammes peuvent donc en produire 2,666,. qui, multipliées par 140, donnent 372,240 kilogrammètres.

Le mont Blanc a 4,810 mètres, le poids moyen de l'homme est de 65 kilog., le travail produit par des efforts qui certes ne sont pas ordinaires, pour l'y porter, est donc 312,650 kilog. mét.

L'appareil humain, considéré comme un appareil de

combustion parfait, confirme donc pleinement le chiffre auquel je parviens par d'autres voies. On ne saurait admettre un chiffre plus fort, et surtout un chiffre *double* ou *triple* sans déclarer, contre toute probabilité, le corps humain une machine très-imparfaite pour convertir la chaleur en travail.

M. Hirn a cherché à apprécier la quantité de chaleur qui disparaît lorsque l'on effectue un travail mécanique, qu'on surmonte une résistance avec une roue à marcher. Il est arrivé ainsi à une moyenne de 60 à 70 km. par calorie, mais en ne tenant pas compte du travail de soulèvement des membres qui forme une partie notable du travail total et conduirait, avec cette correction, à un chiffre peu éloigné de notre chiffre définitif, en égard au peu de précision possible dans une semblable expérience, à cause de l'ignorance où nous sommes de la manière dont nous devons évaluer les actions intérieures.

RÉSUMÉ.

Si nous récapitulons les déterminations de l'équivalent mécanique de la chaleur obtenues en calculant le travail produit par l'application aux corps, dans leurs divers états, de l'unité de chaleur, nous trouvons les résultats suivants, que nous diviserons en deux catégories. La première comprend celles qui ont le plus de valeur, qui sont obtenues à l'aide des données expérimentales les plus certaines ; la seconde celles obtenues à l'aide d'éléments mal déterminés, dont on ne peut déduire qu'une approximation.

Valeurs de l'Équivalent de la chaleur.

	1re Catégorie.		2e Catégorie.
Gaz.	425	»	» kilog mèt.
Solides	436	à	444
Vapeur (Par calcul).	»		449
Vapeur Expér. de M. Hirn.	425	à	204

Nous devons remarquer que les déterminations ci-dessus (au moins celles relatives aux gaz et à la vapeur d'eau), si elles résultaient d'expériences directes, devraient pécher en moins, par la raison qu'elles répondent à des expériences où la quantité de chaleur serait bien certaine, mais pour laquelle le travail correspondant serait diminué de résistances passives, ne saurait être entièrement constaté. Nous allons chercher s'il ne serait pas possible de trouver un autre mode d'expérimentation dans lequel l'erreur fût en sens inverse, pour la resserrer entre deux limites. Pour le moment, nous conclurons de ce qui précède, comme une valeur un peu supérieure à celle de l'équivalent mécanique de la chaleur constatée, le chiffre 449, obtenu en augmentant assez sensiblement celui résultant des meilleures déterminations théoriques.

§ III. Détermination de l'équivalent mécanique par méthode inverse, calcul de la chaleur produite par une quantité de travail déterminée.

La mesure du travail que peut produire l'unité de chaleur est le mode qui se présente le plus naturellement à l'esprit, pour calculer la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur. Mais, en y réfléchissant un peu, on voit qu'il doit exister une méthode inverse, ou, si l'on aime mieux, qu'on peut se proposer de rechercher l'*équivalent calorifique du travail mécanique*, de mesurer le résultat de la transformation du travail en chaleur, au lieu de celle de la chaleur en travail.

Le problème de déterminer la chaleur produite par un travail semble devoir simplement conduire à reprendre inversement les expériences ou les applications des données expérimentales exposées ci-dessus, et par suite ne fournir aucun résultat. Cela est évident pour les calculs que l'on voudrait faire à l'aide des données de la physique; aussi ne nous proposerons-nous pas de reprendre ces calculs, mais bien de passer en revue les expériences directes qui ont pu être tentées dans cette voie, plus simple évidemment en ce qu'elle n'exige pas la réalisation de véritables machines à feu, comme cela est nécessaire pour faire des expériences, des déterminations directes dans la première voie. Il ne s'agit plus que de simples expériences de mécanique dont les résultats doivent être interprétés à l'aide du thermomètre. Je vais rapporter les expériences connues depuis longtemps, et terminerai par la description de celles que j'ai tentées ; j'exposerai les raisons qui m'ont fait préférer la voie que j'ai suivie, et qui est fort différente, on le verra, de celle adoptée par mes devanciers.

Il faut remarquer aussi que si des expériences directes dans la première voie doivent pécher en moins, c'est-à-dire que la chaleur communiquée étant connue, l'équivalent mécanique de la chaleur, exprimé en kilogrammètres, doit être trop faible de tous les kilogrammètres qui n'auront pu être enregistrés ; au contraire, dans la voie que nous allons suivre, on aura sûrement des chiffres trop forts, puisqu'on part d'un nombre certain de kilogrammètres, et qu'on ne pourra reconnaître, par des observations thermométriques, qu'une partie de la chaleur dégagée.

1. *Mesure de la chaleur produite par un travail déterminé appliqué à un gaz.*

Nous ne connaissons pas d'expériences satisfaisantes faites sur les gaz. M. Joule paraît en avoir tenté en comprimant de l'air dans une pompe métallique plongée dans un calorimètre à eau ; nous n'avons pas rencontré un détail suffisant de ces expériences pour les bien analyser, mais nous ne doutons pas que le chiffre 444 obtenu ne résulte de la lenteur de la propagation de la chaleur dans la masse liquide, élément important que nous rencontrerons ci-après.

Le mode d'opérer consisterait évidemment à comprimer un gaz, en employant à cet effet une quantité de travail déterminée, puis, observant l'accroissement de température (l'expérience bien connue du briquet pneumatique constate cet échauffement), à en déduire la quantité de chaleur dégagée à l'aide de la connaissance de la chaleur spécifique du gaz et des substances en contact avec lui. C'est ce qu'ont fait MM. Favre et Silbermann, en employant un thermomètre métallique de Bréguet, qui convient très-bien pour indiquer les moindres variations de température, mais est défectueux pour indiquer les quantités de chaleur, sa masse étant plus grande que celle du gaz. Il est regrettable qu'ils n'aient pas tenté de calculer approximativement les quantités de la chaleur, connaissant la masse du thermomètre.

Ce mode d'expérimentation, excellent en ce sens que le travail de la compression vient contre-balancer des actions purement extérieures, est d'un emploi difficile dans la pratique. La masse sur laquelle on peut expérimenter est si faible, les frottements des pistons qu'il faudrait employer pour comprimer le gaz produisent des quantités de chaleur tellement comparables à celle qu'il s'agit de mesurer, que l'observation peut difficilement donner quelque résultat satisfaisant.

Nous admettons donc, jusqu'à la découverte d'un nouveau mode de disposition de l'expérience, que nous n'entrevoyons pas, que ce n'est que par des déterminations indirectes des éléments de la question, par l'emploi des coefficients de dilatation, d'accroissement de pression, résultant des expérimentations les plus délicates de la physique, que l'on peut calculer avec quelque approximation le résultat mécanique de l'action de la chaleur sur les gaz et inversement. C'est ce que nous avons tenté précédemment ; nous n'avons pas à y revenir.

ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR.

2. *Mesure de la chaleur produite par un travail déterminé, appliqué à un liquide.*

Si l'on veut utiliser les liquides pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur, ce n'est pas une action de compression que l'on peut employer. Presque incompressibles, les liquides résistent à des pressions considérables comme le fait le sable, et au lieu de produire des actions intérieures, celles-ci sont reportées du point d'application sur les diverses parties de l'enveloppe. C'est de cette manière que les liquides sont employés dans la presse hydraulique, et c'est peut-être le principal mérite de cette belle machine, que le travail consommé par la compression de l'eau y est presque nul.

Ce seul exemple montre, ainsi que les observations faites précédemment, que les compressions des liquides ne conviennent nullement pour les expériences que nous avons en vue, qu'elles ne correspondent pas à un travail moléculaire pouvant se convertir en chaleur. On ne produit ainsi que des pressions sur les enveloppes, et par suite des phénomènes d'élasticité d'une analyse impossible.

Si cela est vrai pour des compressions énergiques de liquides, si celles-ci sont peu convenables pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur, parce qu'elles n'engendrent pas d'actions moléculaires, peut-on espérer de meilleurs résultats de compressions faibles, de simples frottements, c'est-à-dire de modifications d'un ordre inconnu des actions presque nulles des molécules liquides les unes sur les autres? Il semble, *à priori*, qu'elles sont encore bien moins convenables, et que leur étude constitue l'expérimentation la plus défavorable, correspond au cas où la chaleur produite par la compression des molécules est un *minimum* pour une quantité donnée de travail. Un semblable mode d'opérer est donc tout à fait imparfait : les mouvements imprimés se communiquant aux supports, se disséminant dans la masse liquide, ne produisant que d'autres mouvements et non de la chaleur, le nombre fourni par l'expérience est aussi éloigné qu'il est possible du nombre exact.

C'est pourtant ce système défectueux qui a été employé pour les seules expériences dont les résultats aient été admis jusqu'ici par les savants, malgré nos anciennes critiques, trop fondées ce nous semble. Rappelons en quelques mots la plus célèbre de ces expériences :

Expérience de M. Joule. M. Joule suspend un poids à une corde, qui fait tourner, en descendant, un axe garni d'ailettes qui plongent dans l'eau. La chute du poids donne la mesure du travail ; le mouvement des ailettes dans l'eau dégage de la chaleur en raison du travail moteur. De là il déduit la chaleur correspondant à un travail donné et *inversement*. C'est ainsi qu'il trouve 434 kilog. mét. pour le travail d'une calorie.

Il n'est pas besoin de grande attention pour reconnaître qu'on ne peut obtenir ainsi qu'une approximation grossière, et que dans ces expériences la partie mécanique est moins bien traitée que la partie physique. En effet, de ce qu'il faut une grande quantité de travail pour produire une calorie, il est erroné de conclure qu'une calorie pourra engendrer cette grande quantité de travail. Si l'appareil de M. Joule devait servir à faire mouvoir une roue destinée à élever de l'eau, il faudrait lui appliquer, pour obtenir l'effet utile, le coefficient 0,40 ou 0,50. Bien probablement la transformation du travail en chaleur, loin de donner une perte moindre, en occasionne une beaucoup plus grande ; et loin que l'expérience de M. Joule prouve l'exactitude du chiffre 434, elle nous semble indiquer que le chiffre exact ne doit pas atteindre 200.

Ceci est indiscutable en principe, et lorsque l'on réfléchit comment des quantités de travail considérables sont rapidement absorbées par les mouvements orbitaires des liquides, un des plus puissants moyens d'amortir la force vive qui se rencontre dans la nature, on est forcé d'admettre qu'en ne tenant pas compte de la vitesse, de la force vive du liquide, qui continue à tourner sans donner de chaleur, M. Joule n'a pu obtenir nécessairement qu'une limite supérieure, très-éloignée de la valeur réelle, de l'équivalent mécanique de la chaleur. Ces observations infirment d'une manière si radicale les résultats de l'expérience de M. Joule, qu'elles prouvent que les vérifications faites depuis, *à posteriori*, par d'autres voies et d'autres expérimentateurs, ne méritent qu'une confiance très-modérée.

Nous ferons bien apprécier l'influence du mode d'opérer, nous montrerons de suite la grande importance de ne pas employer le mode imparfait de produire la chaleur à l'aide d'un travail mécanique appliqué à produire un frottement sur les surfaces lubrifiées, pour en déduire des conséquences théoriques erronées, en citant le rapport fait à l'Académie des sciences sur l'appareil de MM. Beaumont et Mayer.

Appareil de MM. Beaumont et Mayer. — MM. Beaumont et Mayer, reprenant la voie dans laquelle Rumford avait obtenu de curieux résultats, ont combiné un appareil destiné à engendrer de la chaleur par le frottement, en faisant tourner à frottement un axe garni d'un cordage graissé, dans un cylindre en cuivre placé au centre d'un réservoir d'eau. D'après les commissaires de l'Institut, voici les résultats obtenus :

« Le travail moteur étant de 8,50 chevaux, la production de vapeur par heure serait, avec l'appareil de ces messieurs, de 6,56 kilog. Une bonne machine à vapeur à détente prolongée et à condensation, consommant 2 kilog. de houille par force de cheval et par heure, il faudrait 17 kilog. de houille par heure pour la force motrice de 8,50 chevaux, quantité qui produirait 136 kilog. de vapeur, 1 kilog. de houille vaporisant 8 kilog. d'eau. Cet appareil n'utilise donc que 1/24 environ de la chaleur développée par le combustible employé pour le faire marcher. Il faudrait une force motrice de 24 chevaux pour produire la vapeur correspondant à la force d'un cheval. »

Nous citons ce rapport parce qu'il montre bien comment le raisonnement de M. Joule est erroné lorsqu'il propose de prendre le travail capable de produire une calorie pour celui que la calorie peut engendrer, sans s'inquiéter de la manière dont le travail se transforme en chaleur.

Ainsi dans le cas actuel 8 chevaux 50, c'est-à-dire $8,50 \times 75 \times 3600$ kilogrammètres produisant 6 kil. 56 de vapeur, c'est-à-dire $6,56 \times 636$ calories, on devrait conclure de ces résultats (sauf quelques corrections pour tenir compte des calories perdues par le refroidissement) que l'équivalent mécanique de la chaleur est $E = \frac{8,50 \times 75 \times 3600}{6,56 \times 636} = 550$ kilogrammètres, tout comme M. Joule a trouvé $E = 434$.

C'est ainsi qu'on obtiendrait des chiffres croissants avec l'imperfection des appareils, chiffres qui sont des limites très-supérieures de la valeur réelle de l'équivalent mécanique de la chaleur, mais non des valeurs exactes de cet équivalent.

Si nous sommes près de la vérité, les résultats d'expérience doivent l'indiquer. C'est ce qu'il est facile de déduire de la précédente.

Le chiffre 550 servant à produire une calorie est trop voisin de 430 pour ne pas démontrer combien ce dernier est trop élevé. Comment le travail ainsi calculé, n'étant que de 25 p. 100 plus fort que le travail théorique, l'appareil ne reproduirait cependant que $\frac{1}{24}$ de la chaleur dépensée dans la machine à vapeur actuelle? Ne sont-ce pas là deux faits complétement

incompatibles, forçant d'admettre que les travaux des ingénieurs ne sont parvenus à faire de la machine à vapeur qu'une bien pitoyable machine?

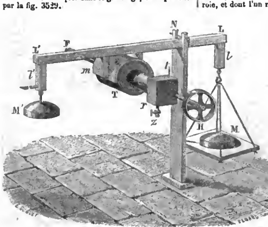
En admettant, au contraire, le nombre 440, les pertes de l'appareil réduisent le travail utile obtenu par le frottement à une proportion acceptable, aussi bien que l'imperfection de la machine à vapeur. N'est-ce pas un résultat bien plus probable que le précédent, une approximation grossière qui vaut une démonstration?

Expériences de M. Hirn sur les huiles.

Dans une étude fort intéressante sur les huiles et les corps lubrifiants, M. Hirn, l'ingénieux expérimentateur dont nous avons déjà rencontré les intéressants travaux, a cherché à mesurer les phénomènes calorifiques qui se produisaient dans ses expériences. Elles se sont trouvées constituer un mode de détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur analogue à celui de M. Joule, permettant de mesurer la chaleur produite par l'emploi d'un travail mécanique pour comprimer et faire frotter entre elles des molécules d'un fluide.

C'est dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* (nos 128 et 129. 1855) que se trouvent rapportées ces curieuses expériences. Comme elles sont peu connues, nous en extrairons ici ce qui a trait à la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. (Nous y reviendrons à un autre point de vue à l'article GRAISSAGE.)

L'appareil adopté par M. Hirn, qu'il appelle balance de frottement, et qui lui servait pour expérimenter la valeur des différentes huiles du commerce, au point de vue de leur emploi dans le graissage, est représenté par la fig. 3529.



3529.

TT est un tambour creux en fonte, parfaitement cylindrique et poli extérieurement, calé sur l'arbre FF. Le diamètre extérieur de ce tambour est de 0m,23, sa longueur de 0m,22; il est fermé, à l'une de ses extrémités, par un fond en fer-blanc, formé d'une partie plane annulaire et d'une partie centrale en tronc de cône ouvert, de manière à laisser libre un espace annulaire entre sa circonférence et l'arbre FF; à l'autre extrémité, par un fond formé, comme le premier, d'une partie annulaire et d'une partie centrale en tube cylindrique.

E coussinet en bronze (alliage de huit parties de cuivre et une d'étain), parfaitement poli et ajusté sur le tambour T, dont il embrasse la demi-circonférence; dans son épaisseur est pratiquée une cavité où se loge exactement le réservoir d'un thermomètre.

LL' est un levier en chêne de 0m,08 d'équarrissage, appuyant sur les brides du coussinet par deux petits supports m, m', vissés à leur partie inférieure sur ces brides en rebords.

Aux deux extrémités de ce levier sont solidement fixés des appendices l, l' en équerre, munis chacun d'un crochet à la partie inférieure. A l'un de ces appendices est suspendu un contre-poids en plomb M', fixé à une tige longue et légère, dont le plan supérieur passe par l'axe du tambour. Un repère indique quand le levier LL' est horizontal. A l'autre appendice est suspendu un plateau PP, sur lequel est posée une masse de plomb M, faisant équilibre à M'. Cette disposition a pour effet d'amener le centre de gravité du système en dessous de l'axe du tambour, de façon que la balance ne soit pas folle.

Le coussinet, le levier et tous les accessoires, y compris les masses M, M', pèsent ensemble 50 kilog. La distance horizontale de l'axe du tambour à la verticale passant par le point de suspension du plateau, lorsque le levier est horizontal, est de 0m,562.

N', est un pied fixé au sol, et ouvert en pince de manière à limiter les écarts du levier LL' de la position horizontale.

Le mouvement du tambour est accéléré ou ralenti au moyen de deux cônes parallèles liés par une courroie, et dont l'un reçoit son mouvement du moteur et l'autre le communique à la poulie H calée sur l'arbre FF.

Au moyen d'un petit tuyau introduit par l'espace annulaire de la face antérieure du tambour, on peut faire passer dans celui-ci un courant d'eau froide ou chaude, qui vient tomber dans la petite caisse en bois r, où se trouve un thermomètre t, et qui est munie d'un robinet z. Deux ouvertures sont ménagées dans les parois verticales de la caisse, et sont juste assez grandes pour laisser passer la partie tubulaire et l'arbre en fer FF.

On voit que par cette disposition, qui rappelle le frein de Prony, M. Hirn enregistra, par simple lecture des poids qu'il faut ajouter pour l'équilibre au poids M lors du mouvement du tambour, le travail consommé par le frottement pour un grand nombre de tours.

Ses expériences sur le graissage produisant des quantités de chaleur très-notables, il a été conduit à chercher s'il existait un rapport constant ou variable entre le travail résistant du frottement mesuré au moyen de la balance et la chaleur développée par le frottement qu'il pouvait mesurer par l'échauffement de l'eau qu'il faisait passer dans le tambour. Rechercher la valeur de ce rapport constant ou variable, n'est pas autre chose que déterminer ce que nous appelons l'équivalent mécanique de la chaleur.

Ces expériences fort délicates, comme on peut le

pressentir, en ce qui concerne la mesure de la quantité de chaleur développée, ont cependant conduit l'auteur à la conclusion suivante :

« La quantité absolue de chaleur développée par le frottement médiat est directement et uniquement proportionnelle au travail mécanique du frottement. Le rapport entre cette quantité de chaleur exprimée en *calories* et le travail mécanique du frottement exprimé en kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur est à peu près égal à 0,0027, quelles que soient la vitesse et la température des corps frottants et la substance lubrifiante. En d'autres termes, le frottement donne lieu, dans tous les cas, à un dégagement de chaleur capable d'élever d'un degré centigrade la température d'autant de kilogrammes d'eau liquide que le travail mécanique de ce frottement mesuré à la balance contient de fois 370 kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur verticale. »

Après avoir décrit des expériences très-variées, qui l'ont conduit à retrouver constamment ce résultat, l'auteur ajoute :

« Ce rapport 0,0027 ne s'applique qu'au cas où le frottement ne *produit aucune altération ni dans la matière lubrifiante*, ni dans l'état des surfaces frottantes. Lorsque le coussinet et le tambour étant séchés et lubrifiés par l'air, il y tombait des poussières, etc., ou bien, lorsque, étant graissés, l'huile contenait des impuretés solides (poussière, plâtre, etc.), le rapport de la chaleur développée au travail absorbé changeait complétement et *devenait beaucoup plus grand que* 0,0027, surtout lorsque l'appareil marchait à sec et s'usait par places. »

Cette seconde partie des expériences de M. Hirn, qui le menait à des résultats qui lui paraissaient devoir être erronés parce qu'ils s'écartaient des chiffres admis, pendant lesquelles se produisaient des grippements, des effets de désagrégation partielle plus ou moins considérables, mélangés dans une proportion variable avec les effets de simple frottement, ne lui a pas donné et ne pouvait donner des résultats d'une netteté comparable à la première, mais a mis hors de doute l'infériorité parfaitement certaine de l'équivalent de la chaleur, qui serait déterminé par les frottements immédiats des corps solides, accompagnés d'usure, sur celle obtenue à l'aide de frottements médiats, avec l'interposition de corps lubrifiants.

Les chiffres les plus probables de cette série correspondent aux cas où les poids placés sur la balance ont été un peu notables, le frottement immédiat ayant alors une certaine régularité, et des secousses, des entraînements ne rendant pas les observations presque impossibles. Les chiffres que trouve M. Hirn pour des poids de 40gr et de 80gr sont 0,007 et 0,008, correspondant aux valeurs 425 et 445 de l'équivalent mécanique, mais avec peu de concordance dans les résultats. Toutefois ils démontrent encore une fois combien le chiffre 430 est exagéré.

Ainsi donc, si la netteté des chiffres de la première partie des expériences de M. Hirn semble donner assez de valeur à sa détermination et confirmer le chiffre de M. Joule, la suite de ces expériences fort multipliées prouve tout le contraire.

Tandis que les chiffres conservent une grande régularité tant qu'il s'agit d'huiles, de matières lubrifiantes, ils deviennent tellement différents lorsqu'il s'agit de frottements produits dans d'autres conditions, de frottements avec usure notamment, que, malgré son désir évident de retrouver le chiffre que ses premières déterminations lui faisaient considérer comme exact, en présence de chiffres bien moindres, il est forcé de conclure que l'équivalent mécanique de la chaleur n'est sans doute pas un nombre constant. Nul besoin, lorsque la cause du phénomène est aussi simple que nous l'avons dit, de discuter une conclusion si peu probable, qui serait la négation de la loi de Mayer, et se rapprocherait de la conception de la multiplication de la chaleur ou du travail, si, appliquant le travail à un certain corps pour lui faire produire de la chaleur, il était possible, en appliquant le travail qu'elle peut produire à un autre corps, de retrouver une quantité de chaleur plus grande que la chaleur initiale. Il faut nécessairement admettre, d'après cela, que dans ces expériences le chiffre le plus faible trouvé dans un cas est le plus voisin du chiffre exact.

Il n'est donc pas douteux que l'expérimentation du frottement, dans les conditions dans lesquelles il est produit dans les expériences de M. Hirn sur les huiles, conduit à une valeur trop forte de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Il est très-certain qu'il n'est pas de circonstance plus défavorable pour mesurer la quantité de chaleur dégagée par un travail mécanique que le frottement, avec intervention de liquides, de substances lubrifiantes interposées entre des surfaces parfaitement dressées. En effet, ces substances ont pour effet de réduire à très-peu de chose le frottement, de remplacer l'usure pouvant se produire entre des surfaces de contact (et dégager de suite, par l'effet de la désagrégation moléculaire, un effet calorique proportionnel au travail), par le roulement de sphères liquides qui n'adhèrent que par la force minime qui les réunit par leur viscosité. Aussi voit-on qu'il faut, dans l'appareil de M. Hirn, prolonger les expériences dont nous venons de parler, faire faire au tambour quinze cents ou deux mille tours pour rendre le nombre de calories appréciable.

Ce roulement des molécules liquides, qui avait été l'objet de l'expérimentation de M. Joule, c'est essentiellement l'action moléculaire la moins énergique qu'il soit possible d'imaginer, et par suite celle qui exige le plus grand développement de force motrice pour produire un effet calorifique. Rien d'étonnant à ce que la perte due aux vibrations des supports et aux communications avec le sol, au dégagement notamment de l'électricité sûrement engendrée bien que disparue aussitôt, s'écoulant à travers les corps conducteurs qui servent de supports, que les mouvements de l'air pour des rotations de 45 à 90 tours par seconde réduisent l'effet utile de *transformation du travail en chaleur*, à 30 ou 35 p. 100 du travail mécanique dépensé.

Le frottement des corps solides entre eux paraît, au contraire, donner des chiffres inférieurs à ceux déterminés par expérimentation sur les fluides et plus voisins de la vérité. Ce résultat n'avait pas échappé à Rumford, qui a fait le premier des expériences sur la production de la chaleur par le frottement et qui avait parfaitement reconnu que ce n'était qu'autant qu'il y avait grippement, usure du métal, que la production de la chaleur était notable, comme le prouve l'expérience des axes de rotation. Il obtint ainsi de grandes quantités de chaleur sans pouvoir déterminer tous les éléments de la question. Mais n'est-il pas un procédé plus sûr que celui des frottements, des grippements irréguliers entre des surfaces de corps solides? C'est ce qu'il nous reste à examiner; c'est sur ce point qu'ont porté nos expériences.

3. *Mesure de la chaleur produite par une quantité de travail déterminé agissant sur un corps solide. — Expériences nouvelles.*

Les corps solides conviennent parfaitement pour la détermination de l'équivalent calorifique du travail mécanique, parce qu'une action mécanique exercée sur eux peut être dirigée de manière à altérer leur cohésion moléculaire, changer d'une manière définitive l'écartement des molécules et, par suite, être en totalité transformée en chaleur. C'est la voie nouvelle que j'ai suivie en employant des actions qui correspondent

toujours à un semblable changement d'état moléculaire et donnent instantanément une production notable de chaleur. Je dois indiquer les moyens de réaliser dans la pratique les conditions fondamentales dont il importe de ne pas s'écarter pour atteindre le résultat théorique poursuivi.

Je résumerai ainsi les conditions fondamentales :

1° Travail mécanique facilement mesurable sans incertitude;

2° Emploi d'un travail mécanique déterminé à rompre des cohésions moléculaires sans produire de vibrations, en rendant minimum la transmission de travail aux supports;

3° Mesure convenable de l'accroissement de température, et, par suite, du nombre de calories correspondant au travail mécanique consommé.

4° Correction pour tenir compte de la force vive transmise au sol.

Je vais passer en revue les dispositions à l'aide desquelles j'ai cherché à satisfaire à ces diverses conditions, puis je donnerai les chiffres d'une de mes dernières expériences, les mieux affranchies de causes d'erreur.

Travail mécanique facilement mesurable.

Le moyen par excellence pour obtenir un travail mécanique facilement mesurable consiste à employer la chute d'un corps. Comme le principal moyen d'éviter les erreurs, dans une nature d'expériences où la quantité de chaleur dégagée est peu considérable, consiste à grandir un peu l'échelle sur laquelle on opère, j'ai cherché à disposer de poids et de chutes notables. Il m'eût été fort difficile de satisfaire à ces conditions sans l'amitié de M. Hervé Mangon, qui a mis à ma disposition les ressources du dépôt du matériel appartenant aux ponts et chaussées, situé quai de Billy. Une sonnette à battre les pieux fut dressée, et me permit de disposer d'un mouton du poids de 440 kilog. tombant, au besoin, d'une hauteur de plusieurs mètres. Cet appareil, malheureusement un peu grossier pour des expériences de précision, ne pouvait me donner qu'une approximation; mais je crois que c'est un appareil de cette nature, construit avec le soin convenable, qui est le plus propre aux expériences dont il s'agit. C'est ce que je me propose de vérifier un jour.

Emploi du travail mécanique à rompre des cohésions moléculaires, sans vibrations sensibles.

En analysant la manière dont la transmission de la chaleur aux corps solides produit un travail mécanique, nous avons montré que c'était en faisant naître des actions intérieures, qui équilibrent des forces moléculaires, que le travail est produit. Inversement, si un travail est employé à annuler des forces moléculaires, à disjoindre par une action d'écrasement les molécules de ce corps, à produire l'effet qu'eût produit une quantité de chaleur, celle-ci correspondant exactement au travail mécanique employé, sera dégagée, comme elle eût été consommée si elle eût eu à produire ce travail. Ces éléments mesurés fourniront la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Pour que cette expérience réussisse, il faut que les molécules du corps soumis à une action mécanique puissent se disjoindre, par l'effet d'un travail mécanique, d'une manière définitive, en modifiant leur écartement normal dans le corps obtenu par fusion. C'est là le principe nouveau de nos expériences. Ce mode d'action se ramène à l'écrasement d'un corps fondu, et le plomb était naturellement indiqué comme la substance par excellence. Il fallait, en outre, que cet écrasement fût effectué sans vibrations, par un amortissement presque complet des forces vives, et, par suite, sans que la partie inférieure de la pièce écrasée fût déformée (on verra plus loin que cela est doublement nécessaire). C'est à quoi je suis parvenu par une forme convenable du morceau de plomb fondu.

J'ai trouvé un grand avantage à remplacer dans ces expériences, les formes symétriques à la partie supérieure et inférieure, du corps soumis à l'écrasement, celles de cubes, de cylindres, qui seules avaient été employées jusqu'ici dans les rares expériences faites sur les phénomènes d'écrasement, et qui se déformaient en même temps à la partie inférieure et à la partie supérieure, par des formes qui offrent à la partie supérieure une résistance bien moindre qu'à la partie inférieure.

Avec cette précaution et pour une chute convenable du mouton, l'écrasement étant limité aux parties supérieures, la base n'étant nullement déformée, l'amortissement du choc est complet, une vibration insignifiante est communiquée à l'enclume placée sur le sol, et le travail dû à la chute du mouton est employé en très-grande partie en écrasement, en actions moléculaires intérieures.

J'ai adopté la forme d'un cône droit (fig. 3530) pénétré par un cône renversé, forme qu'il est facile d'obtenir par fusion et de multiplier de manière à agir sur des pièces identiques; ce qui permet de vérifier les déformations, d'étudier les variations d'effet que produit la variation du travail.

3530.

Ces morceaux de plomb, dans nos expériences, avaient 16 centimètres de hauteur; rayon à la base, 6 centimètres; en haut, 5; épaisseur à la base, 12 millimètres; au sommet, 2 millimètres; poids, 5k,90 en plomb du commerce, pas très-pur.

Je dirai incidemment que les effets d'écrasement de ces pièces m'ont fourni des résultats curieux sur le mode de répartition des pressions; ce qui m'a suggéré une explication très-satisfaisante (ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici à ma connaissance) de la formation des pyramides ou de cônes, lors de l'écrasement de pierres cubiques ou cylindriques. (Voir RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.)

Mesure de l'accroissement de température et par suite du nombre de calories correspondant au travail mécanique consommé.

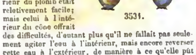
Pour mesurer l'accroissement de température résultant de l'écrasement du métal, je le place dans un calorimètre en cuivre de 22 centimètres de diamètre et 20 de hauteur, que j'entoure de ouate de coton sur une forte épaisseur. J'y verse de l'eau, et place dans cette eau deux thermomètres qui passent au dehors de la cuve. Pour pouvoir faire agir le mouton sur le plomb sans briser les thermomètres, j'emploie un faux pieu, une pièce de bois placée sur lui, avec interposition d'une plaque en fer pour éviter que le bois ne se brise par le choc, en ne rencontrant de résistance que sur une partie de sa surface.

Tel est l'appareil qui m'a servi et dont le principal défaut réside dans le peu de conductibilité de l'eau, qui doit se mettre en équilibre de température avec le plomb.

Cet effet est si notable que les indications du thermomètre n'avaient aucune valeur lorsqu'on n'agitait pas l'eau du calorimètre; condition tout à fait essentielle et à laquelle il n'était pas très-facile de satisfaire ici, puisqu'il fallait agiter le liquide immédiatement après le choc.

J'y suis parvenu en mettant en communication avec

l'eau une poire de caoutchouc (fig. 3531), terminée par un tube de même substance qui vient coiffer une tubulure placée au bas du calorimètre; de manière qu'en comprimant cette poire, puis la laissant se gonfler, alternativement je lance l'eau sur le plomb pour la lever, puis j'aspire cette eau, enfin je mélange intimement toutes les couches liquides.



3531.

Le lavage extérieur du plomb était relativement facile; mais celui à l'intérieur du cône offrait des difficultés, d'autant plus qu'il ne fallait pas seulement agiter l'eau à l'intérieur, mais encore reverser cette eau à l'extérieur, de manière à ce qu'elle pût agir sur le thermomètre.

A cet effet, j'emploie une deuxième poire épaisse en caoutchouc vulcanisé disposée comme la précédente, également adaptée à l'aide d'un tube de caoutchouc à un deuxième ajutage soudé à la partie inférieure du calorimètre. Dans l'intérieur de cette poire, je fais entrer un tube de caoutchouc de petit diamètre, moitié environ de celui de l'ajutage; il est retenu dans la poire par une petite broche qui le traverse. Ce petit tube pénètre à l'intérieur du plomb, en passant par une encoche pratiquée dans son pied, qui, nous l'avons vu, n'est jamais écrasé. A l'aide de ce petit tube, il y a aspiration et envoi de l'eau à l'intérieur du cône en plomb, et comme cette eau se mélange dans la poire avec l'eau aspirée et renvoyée à l'extérieur du cône, la mélange est bientôt intime.

Une expérience à blanc ayant montré que la chaleur produite par ce mouvement de l'eau, correspondant à un travail mécanique insignifiant, était de nulle importance, sûrement bien inférieure aux pertes de chaleur de l'appareil, que l'équilibre de température était obtenu en une ou deux minutes au plus, j'ai pu opérer en toute sécurité.

Je donne (fig. 3532) la disposition générale de l'expérience.

Je rapporte ci-après les résultats d'une expérience choisie entre plusieurs concordantes faite avec l'appareil ainsi complété, et qui, bien qu'un peu grossier, ne peuvent donner des résultats très-précis, doit donner une approximation assez satisfaisante, à cause des proportions assez fortes des éléments de production de la chaleur. J'insisterai particulièrement sur le mode de lavage pour les personnes qui voudront répéter mes expériences: car ce n'est qu'après être arrivé à cette forme définitive, que les résultats de l'expérimentation ont pris une grande netteté.

Correction relative à la force vive absorbée par les supports.

La forme adoptée pour les blocs de plomb permet bien d'employer la majeure partie du travail en actions moléculaires produites par le choc amorti par l'écrasement de la substance malléable; mais il est clair que la totalité ne pourrait être ainsi utilisée que si cette substance malléable n'opposait absolument aucune résistance à la fin du choc. En effet, pour le plomb par exemple, il est évident que la résistance qu'il oppose à l'écrasement se communique au support inférieur, et que si le choc ne produisait qu'une pression insuffisante pour l'écraser, le plomb résisterait, comme la matière la plus dure, et communiquerait toute la force vive du choc à l'enclume.

Comment évaluer la force vive ainsi communiquée, le travail qu'il faut déduire du travail total, afin de conserver seulement celui qui produit l'écrasement, la désunion des molécules réunies lors du refroidissement du métal, le seul qui produit les effets calorifiques que nous cherchons à mesurer? Il est assez difficile de le faire avec une très-grande exactitude, mais il est facile d'obtenir des chiffres inférieurs à sa valeur réelle, et par suite permettant d'opérer, en partie au moins, cette importante correction.

Au commencement du choc, l'écrasement du plomb qui ne présente qu'une faible surface supérieure amortit successivement partie de la force vive du mouton; mais à la fin du choc, la surface du plomb qui le reçoit s'étant accrue, la force vive qui subsiste devient insuffisante pour continuer l'écrasement; autrement dit, le travail qui n'est pas utilisé est un peu supérieur à celui correspondant à la force vive qui va s'amortir par les vibrations du support inférieur et les communications au sol.



3532.

La voie expérimentale peut permettre de déterminer ce point et donner la valeur de la correction à faire. En effet, soumettons le bloc du plomb écrasé à de très-faibles chutes du mouton, il n'éprouvera aucune action, et le métal résistera facilement. En faisant croître cette chute, on arrivera à déterminer directement ou par interpolation, avec assez d'exactitude par un nombre suffisant d'expériences, le point où commence l'écrasement.

En soustrayant la quantité de travail pour cette

chute, du travail total correspondant à la chute totale du mouton, on a bien le travail qui a produit l'écrasement, les ruptures moléculaires, source de la chaleur.

Malheureusement dans la sonnette à battre les pieux que j'ai employée, le mouton n'étant pas guidé de manière à tomber toujours parallèlement, ne permet pas de faire bien convenablement cette correction. Le plomb étant attaqué obliquement par une partie variable de la surface supérieure, il se produit de petits écrasements partiels qui empêchent de faire une observation exacte. Pour ce point comme pour arriver expérimentalement à un chiffre plus approché de l'équivalent mécanique, il nous faudra construire un appareil plus précis que celui que nous avons employé.

Quelques expériences nous ont indiqué une autre voie pour déterminer cette correction en raison de la surface qui reçoit le choc. Nous avons reconnu que $0^{km},35$ étant, d'après M. Ardant, la résistance vive d'un millimètre carré de rupture pour un fil plomb de 1 mètre de long, celle-ci ne peut descendre au-dessous de $0^{km},07$ pour un fil très-court, de 0,01 par exemple. Prenant la valeur de $0^{km},06$ pour la résistance de la rupture à l'écrasement (toujours plus grande que la rupture par traction) d'une section d'un millimètre, nous trouvons, en mesurant la surface supérieure du plomb écrasé, une valeur de la correction dont il s'agit ici, double de celle que nous avons admise dans l'expérience ci-après, ce qui prouve tout au moins qu'elle est loin d'être trop forte.

Expériences. Voici les chiffres d'une de nos expériences les plus nettes, choisie parmi plusieurs concordantes :

	Le calorimètre contenait kilog.	Chaleur spécifique.	Quantité de chaleur qui correspond à l'échauffement de 1°.
Plomb.	5,935	0,0314	0,19
Eau	2	1	2
Laiton du calorimèt.	0,725	0,09	0,06
Plaque en fer posée sur le plomb. . . .	0,720	0,114	0,08
			2,33

Poids du mouton. 440^k } Travail, 459,8 kilog. mèt.
Chute . . . . $1^m,045$ }

Indications du thermomètre :

avant la chute. . . . . . . $11^{\circ}\frac{4}{5}$ } Gain. . . . . $\frac{4}{5}$.
après la chute. . . . . . . $12^{\circ}\frac{3}{5}$ }

Quantité de chaleur pour $\frac{4}{5}$ de $1^{\circ} = 2,33 \times \frac{4}{5} = 1^{cal},86$.

Équivalent (sans correction), $459,8 : 1,86 = E = 247$.

Nous avons cru reconnaître clairement que le mouton ne produit d'écrasement qu'à des chutes supérieures à 0,26; ne produit donc aucun écrasement pour chute de 0,245. Le véritable travail produisant de la chaleur n'est donc que $440 \times 0.80 = 352$, et le véritable équivalent fourni par l'expérience est $352 : 1,86 = E = 189$.

Ainsi la production d'une calorie pour moins de 250 kilogrammètres, voici ce que le thermomètre montre, ce qui infirme sans contestation possible le chiffre de M. Joule, abstraction faite de toute correction. En tenant compte de la plus importante qu'il y ait à faire, $E = 190$ est une valeur supérieure à l'équivalent mécanique de la chaleur, d'une quantité sûrement notable, à cause de la rusticité de l'appareil servant à produire le choc, dont les résistances intérieures de l'appareil qui naissent pendant la chute du mouton sont négligées, et à cause aussi de la difficulté d'observer sans pertes sensibles des différences de température peu considérables.

Je résumerai l'esprit de cette expérience capitale en quelques mots :

Sans se faire aucune idée préconçue de la nature de la chaleur, sans formuler aucune hypothèse, on ne peut se refuser à admettre comme un résultat direct et expérimental que les effets de la chaleur, ce qu'on appelle la répulsion calorifique et l'attraction qui produit la cohésion, sont de même ordre, le travail de l'une étant de sens opposé du travail de l'autre, comme le prouve l'écartement, sous l'influence de la chaleur, des molécules des corps solides réunies par des forces de cohésion, dont la résistance de ces corps à la traction montre la grandeur.

Ceci étant posé, et l'écrasement du plomb fondu (dont la densité reste constante) dégageant de la chaleur, nul doute que celle-ci ne doive être en quantité égale à celle qui se dégagerait par le refroidissement (déduction faite de la chaleur spécifique propre aux molécules) après un échauffement qui eût produit par dilatation un même effet mécanique que l'écrasement, qui eût surmonté la cohésion des molécules séparées par le choc, qui les eût amenées à un état moléculaire identique. C'est une conversion de travail en chaleur par l'intervention des forces moléculaires d'une grande netteté (inverse de la fusion qui consomme la chaleur latente pour détruire la cohésion, exemple capital de conversion de chaleur en travail, sans variation de température), ne donnant pas lieu à des phénomènes secondaires, à des déperditions de travail pouvant en altérer la valeur. Il n'y a pas là rien de complexe, d'incomplet comme on l'a dit, rien qui tende, tant s'en faut, à donner un chiffre trop faible. C'est une expérience de *physique dynamique* qui met en présence quantité de travail et quantité de chaleur correspondante, c'est-à-dire des unités complètes, à l'inverse de nombre d'expériences qui ne donnent qu'un des facteurs de la quantité de travail ou de chaleur, un élément dont l'utilisation est souvent erronée. De plus, ce ne sont plus des actions moléculaires faibles, peu connues, comme celles mises en jeu dans les expériences qu'on nous oppose et qui reposent sur le battement de l'eau, les frottements, etc., actions qui n'engendrent que peu de chaleur pour un travail notable qui donne lieu à des pertes certaines, dont il y aurait à tenir compte pour conclure avec exactitude de la chaleur produite le travail que celle-ci peut théoriquement engendrer.

Résumé.

Si nous résumons les résultats obtenus dans cette seconde voie, en déterminant la chaleur produite par un travail donné, ce qui fournit une limite très-supérieure, puisqu'on ne peut jamais enregistrer la totalité absolue de la chaleur dégagée, que dans tous les cas rapportés ci-dessus les pertes de travail sont sûrement importantes, nous pourrons tracer le tableau suivant :

Gaz. — Pas d'expériences connues en détail.

Liquides. — Frottement entre molécules liquides ou entre surfaces de solides avec interposition de liquides, valeurs de E : Joule, 430 ; — Beaumont et Mayer, 550; — Hirn, 370.

Solides. — Mes expériences d'écrasement, 189.

Il est bien évident qu'à moins de nier complétement la théorie de l'équivalent de la chaleur et la réduction à l'absurde, si logique de S. Carnot, il faut admettre les chiffres les plus faibles comme ayant seuls de la valeur; les plus forts correspondant à des expériences tout à fait grossières, soit quant aux mesures, soit surtout parce que le travail s'est dispersé sans produire d'effet calorifique mesurable dans l'appareil.

§ IV. VÉRIFICATION.

Il semble que j'aie épuisé les modes de détermination possibles de l'équivalent mécanique de la chaleur, des limites supérieures et inférieures, à l'aide desquelles on

peut arriver à un chiffre définitif. En effet, ce n'est qu'en produisant de la chaleur à l'aide d'un travail mécanique ou inversement, qu'on peut obtenir une relation dans laquelle l'équivalent mécanique entre comme facteur. Quelques-uns des calculs précédents n'ont qu'une valeur médiocre lorsque, comme dans le cas intéressant des vapeurs, nous n'avons pu obtenir de résultat qu'en posant un chiffre hypothétique sur la quantité de chaleur absorbée par l'augmentation de volume. Cette difficulté peut être levée dans un cas où nous pouvons avoir la mesure du travail produit par la détente totale, ce qui nous conduit à une vérification très-précieuse qui revient en réalité à la combinaison des deux méthodes suivies séparément dans les recherches précédentes, c'est-à-dire en appliquant tantôt la chaleur, tantôt le travail mécanique à produire des effets inverses et identiques. Il en ressortira bien nécessairement l'équivalence absolue de causes produisant des effets identiques; il n'y aura pas alors d'objection possible en raison de phénomènes intérieurs, puisqu'ils seront les mêmes dans les deux cas.

Nous réalisons cette expérience avec le gaz sulfureux, gaz parfaitement permanent, qui n'a aucun caractère propre aux vapeurs voisines de l'état de saturation, qui est une vapeur bien surchauffée à la température ordinaire à laquelle nous opérons, et qui cependant se liquéfie facilement, tant par compression à une température constante que par refroidissement à pression constante, c'est-à-dire passe de l'état de gaz à l'état liquide, d'états moléculaires identiques au départ et à l'arrivée par des quantités de travail mécanique et de chaleur nécessairement équivalentes.

Nous savons que les tensions du gaz sulfureux liquide sont :

à 4°,4	1,80 ath.	(Faraday).
à 8°	2,50 —	(Pouillet).
à 32°	4,30 —	(Faraday).

Par interpolation nous aurons approximativement 3 ath. 60 pour la température de 15°, à laquelle MM. Favre et Silbermann ont trouvé pour la chaleur sensible et latente de 1g d'acide sulfureux liquide 0c,094.

Le travail correspondant à la chaleur latente est donc pour 1g $0,094 \times 140 = 13^{km},25$, et pour 1 litre de gaz sulfureux à la pression atmosphérique pesant 2g85, $13^{km},25 \times 2,85 = 37^{km},75$. Tel est le travail qui correspondrait à la suppression de la chaleur qui liquéfierait le gaz, comme la communication de cette même quantité gazéfie le liquide.

En faisant, d'autre part, le calcul du travail mécanique d'après la formule indiquée à LIQUÉFACTION

$$PV\left(2 + \text{log. hy.} \frac{V_1}{V}\right) \text{ on a :}$$

$10,33\ (2 + \text{log. hy. } 3,60) = 10,33 \times 3,28 = 33^{km},38$ pour un litre de gaz. A cette quantité il faudrait ajouter le travail correspondant au refroidissement de l'acide sulfureux liquide pour le ramener de 15° à —10°, température de son ébullition. Nous avons vu que sa chaleur spécifique est de 0,256, on aura pour 1g $0,256 \times 25 \times 0,001 \times 140 = 1,036$, et pour 2g,85, 3^{km}. Le chiffre correspondant au travail mécanique est donc très-approximativement $36^{km},88$, c'est-à-dire ne diffère du premier que $0^{km},87$.

La vérification du chiffre 140 est donc très-satisfaisante; le calcul donne 137, et on peut songer à la remplacer par le chiffre 130.

La seule objection à faire à ce calcul, c'est que la formule avec laquelle on calcule le travail mécanique suppose l'exactitude de la loi de Mariotte, dont le gaz sulfureux s'écarte quelque peu. Mais comme il est plus compressible que l'air, le travail évalué est trop grand, ce qui tendrait à prouver que le chiffre 140 est un peu fort.

§ V. CONCLUSION.

Rien de plus facile maintenant que de tirer les conclusions qui ressortent de tous les chiffres précédents, et d'en déduire une valeur bien approchée de l'équivalent mécanique de la chaleur. Nous avons passé en revue tous les moyens qui peuvent permettre de la déterminer, ne laissant de côté que des expériences nouvelles qui nous sont peu connues et à l'aide desquelles on prétend déduire cette valeur de la chaleur dégagée des combinaisons chimiques qui engendrent l'électricité dans la pile et du travail par l'électro-magnétisme, c'est-à-dire de moyens se rattachant à des théories plus obscures encore dans l'état actuel de la science que celle qu'il s'agit d'éclaircir.

Dans une première voie, nous avons trouvé que des déterminations fondées sur les chiffres les plus certains de la physique nous menaient à des valeurs de l'équivalent mécanique de la chaleur, variant de 125 à 136.

Par une route inverse et des expériences faites avec des appareils un peu grossiers, nous avons trouvé des valeurs voisines de 180, sûrement trop fortes et même d'une quantité notable. Nous sommes donc fondés à prendre, pour l'équivalent mécanique de la chaleur, un chiffre compris entre ces deux limites inférieure et supérieure, non pas la moyenne arithmétique $\frac{125 + 180}{2} = 152,5$, mais un nombre plus rapproché de la première que de la seconde. Nous devons considérer $E = 140$ comme très-rapproché de la valeur exacte; elle est voisine des valeurs qui nous paraissent les meilleures, notamment celle que donne la vérification que nous fournit le gaz sulfureux.

Ainsi donc, en résumé, le chiffre 430, introduit dans la science par M. Joule, doit être rejeté et remplacé par le chiffre 140. Il n'y a pas à discuter pour prouver que le chiffre 430 est possible, lorsque le thermomètre marque une calorie produite par un travail de 240 kilog. mètres, dans une expérience dans laquelle on n'enregistre pas la totalité de la chaleur produite et où l'on tient compte de quantités de travail qui ne produisent sûrement pas de chaleur. Des déterminations très-précises, des vérifications indirectes pourront sans doute montrer que la valeur de E, que nous adoptons, doit être corrigée de quelques unités; mais il est, dès aujourd'hui, bien certain que ces modifications seront de peu d'importance, et qu'il devient possible dès aujourd'hui, à l'aide de cette valeur très-approchée, de tirer parti d'une des lois les plus importantes de la physique, ce qui ne peut avoir lieu utilement qu'autant que la valeur admise est suffisamment exacte. Une valeur erronée est, au contraire, une source d'erreurs, faisant éclore une foule de projets d'applications qui ne peuvent réussir, comme l'expérience l'a déjà démontré surabondamment.

La loi de la transformation de la chaleur en travail, et, réciproquement, la conversion d'un des phénomènes dans l'autre par le jeu des forces moléculaires ou la variation des états moléculaires, paraît une des plus générales, et c'est sûrement une des plus importantes auxquelles l'esprit humain se soit élevé. Nous vivons au milieu de phénomènes continuellement manifestés à nos yeux, tantôt par la chaleur, tantôt par le mouvement. C'est donc une découverte d'une grande fécondité que de montrer que ces phénomènes sont, sous des apparences diverses, des effets produits par une même cause, et d'en obtenir la mesure; ce qui procure la possibilité de suivre les résultats de leurs métamorphoses sans la compréhension desquelles une foule de lois ne peuvent être constatées.

La parfaite correspondance qu'il devient possible d'é-

tablir entre les deux unités complètes, quantité de chaleur et quantité de travail, permet d'accomplir ce grand progrès, sans s'égarer dans des recherches sur les modes de production des phénomènes.

Parmi les applications nombreuses de ces résultats aux sciences physiques, il faut surtout citer celle qui s'en fait directement à la machine à vapeur. La loi de la production du travail, à l'aide de la chaleur, réalisée dans l'industrie directement par la machine à vapeur (car indirectement on retrouve toujours la chaleur comme source première de tout travail), est renfermée presque tout entière dans la détermination de l'équivalent mécanique. En permettant de comparer les résultats obtenus de tout système, de toute combinaison, à un maximum théorique parfaitement déterminé, cette notion donne le moyen d'évaluer exactement le mérite de chacun d'eux, d'étudier les moyens de les perfectionner, et grâce à ce point fixe ne pas s'égarer dans les routes, en nombre infini qui conduisent vers des résultats chimériques.

Tout ceci prouve surabondamment, ce nous semble, l'*utilité et l'importance* des recherches dont nous terminons l'exposé, et qui, complétant les lois de Carnot et de Mayer, données plus haut, forment un ensemble comprenant toutes les règles pouvant servir à l'établissement de tout genre de machines à feu, à l'étude des phénomènes calorifiques et mécaniques dans leurs rapports mutuels.

ÉQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ. L'équivalence de la chaleur et de l'électricité qui doit mener à cet équivalent a été indiquée par plusieurs savants dans ces dernières années, et les résultats déjà obtenus ne laissent plus aucun doute sur la vérification expérimentale de cette importante loi naturelle. Nous rappellerons ici deux principales séries de travaux sur ce sujet.

Le premier est celui de M. Pouillet qui, après avoir cherché à définir l'unité de quantité d'électricité en mesurant, à l'aide de la boussole des sinus, l'intensité du courant qui parcourt pendant l'unité de temps l'unité de section d'un fil qui a l'unité de longueur, a trouvé cette vérification que la quantité d'eau décomposée par le courant était constante pour un même produit de l'intensité, mesurée comme ci-dessus par le temps pendant lequel agit le courant.

On pourra déduire de ce résultat l'équivalent de l'électricité et du calorique, car il existe une relation intime entre la quantité d'électricité et la quantité de chaleur produite par la combustion de l'hydrogène et de l'oxygène rendus libres. (Voy. PRODUCTION DE LA CHALEUR.)

Au lieu de prendre la quantité d'eau décomposée en un temps donné par un courant, comme mesure de la quantité d'électricité, et d'en conclure la correspondance avec la chaleur, on peut employer directement l'électricité à produire de la chaleur et connaître ainsi la quantité de cette dernière produite par la quantité d'électricité dégagée par une action chimique déterminée, l'oxydation d'un gramme de zinc par exemple.

M. de la Rive avait annoncé que la somme des quantités de chaleur dégagée dans l'intérieur de la pile et dans le circuit fermé, pour un même courant, formaient toujours une quantité constante. M. Favre, en vérifiant et prouvant la vérité de cette loi à l'aide du calorimètre qui lui avait servi pour ses expériences avec M. Silbermann, a donné des chiffres qui permettent d'établir numériquement cette correspondance. Il a trouvé que pour 1 gramme d'hydrogène dégagé, correspondant à 33 grammes de zinc oxydé, la chaleur totale produite était toujours de $18^{cal},640$. Il y a donc constance à la fois dans l'électricité qui répond à une même décomposition chimique et dans la quantité de chaleur produite par la neutralisation de cette électricité.

On voit, en résumé, que les effets calorifiques et les effets électriques se substituent les uns aux autres, suivant une loi manifeste d'équivalence.

MOTEURS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Nous avons exposé dans l'introduction et à l'art. TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE le véritable point de vue auquel on doit se placer pour étudier ces moteurs ; comment, très-précieux comme moyens instantanés de communication et de mouvement et pouvant de ce chef fournir de curieuses et intéressantes applications, les forces électro-magnétiques ne sauraient être mises en parallèle avec la chaleur, au point de vue de l'économie. M. Tresca a fait, lors de l'exposition de 1855, des expériences sur les machines exposées. Nous rapporterons les résultats obtenus sur les deux meilleures et les comparerons à la machine à vapeur à l'aide de la relation indiquée ci-dessus.

La machine de M. Larmenjeat est disposée ainsi : des électro-aimants circulaires mobiles restent constamment en contact avec des armatures en fer doux en forme de galets ; les électro-aimants et les galets roulent les uns sur les autres.

La machine de M. Roux est à aimants circulaires fixes et armatures en fer doux oscillantes.

On a d'abord reconnu que la machine de M. Larmenjeat, qui fonctionne avec les armatures en contact, a produit plus d'effet utile que les autres, à égalité de couples employés et lorsque la surface de ces couples n'a pas dépassé $3^d,40$ carrés. Néanmoins, dans ces conditions, elle a exigé la consommation de 60 grammes de zinc par kilogrammètre et par heure, soit $4^k,5$ par cheval de force. C'est donc en négligeant le prix des acides (le zinc à 70 c. le kilog.), $3^f,15$ par cheval et par heure.

La machine de M. Roux, qui avait donné $6^k,640$ de zinc consommé par cheval et par heure avec les mêmes couples, a présenté de meilleurs résultats en employant des éléments dans lesquels la surface totale de zinc immergé dans la pile était de 24 décimètres carrés ; alors elle a consommé seulement $2^k,200$ de zinc par cheval et par heure, c'est-à-dire à peu près 1 fr. 50 c. pour cette force pendant ce temps. Ces expériences prouvent qu'on aurait avantage, pour abaisser le prix de revient de la force donnée par les électro-moteurs, à faire usage de couples voltaïques de plus grandes dimensions que ceux employés jusqu'ici et en moins grand nombre, tout en augmentant le diamètre des fils qui entourent les électro-aimants.

La notion d'équivalence de l'électricité avec la chaleur, et par suite le travail, permet d'analyser la valeur de ces diverses machines. Ainsi elle montre que le dernier résultat obtenu est très-remarquable d'après les chiffres précédents, puisqu'il répond à 60 p. 100 du travail utile possible. En le supposant exact, on voit combien on est loin du prix de 2 ou 3 kilog. de charbon que coûte, à l'aide de la machine à vapeur, la force du cheval-vapeur, qui est, en prenant le prix moyen de 30 fr. les 1,000 kilogr., soit 0,03 le kilog., de 6 cent.

La véritable question à étudier aujourd'hui et qui permettrait, même avec les machines existantes, d'abaisser le prix de revient de l'effet utile, c'est celle qui a trait à la production économique de l'électricité ; il faut espérer que les recherches incessantes des physiciens permettront d'obtenir des piles moins coûteuses que celles qui sont employées. Ce n'est que lorsque leurs travaux y auront conduit par l'analyse complète et la mesure de tous les phénomènes qui se rattachent à la pile, qu'il sera raisonnable de s'occuper de machines électro-motrices dont le travail soit constamment applicable dans certains cas déterminés, non à cause du bon marché, mais à cause de la facilité de leur emploi, de la délicatesse intelligente, en quelque sorte de leur action. Jusque-là, il y a peu à s'intéresser à des dis-

positions de mécanismes que l'on peut varier à l'infini, sans utilité réelle.

ESSENCES ARTIFICIELLES. L'étude de la chimie organique, et principalement des éthers de la série amylique, a produit, dans ces dernières années, un résultat curieux, et que l'on ne peut envisager sans étonnement, dit M. Girard, dans une intéressante notice insérée dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, auquel nous empruntons ce qui suit.

On a vu des corps, qui le plus souvent trouvaient leur origine dans des matières d'une odeur infecte, donner naissance à des composés nouveaux doués des odeurs les plus suaves, et rappelant, sans aucune différence, les parfums les plus délicats employés jusqu'ici dans l'industrie. De là une source toute nouvelle d'applications. Frappés de l'odeur de fruit qu'exhalent certains éthers, les chimistes ont cherché non-seulement à démontrer l'identité de ces derniers avec les essences de fruits, mais encore ils se sont efforcés de les faire pénétrer dans l'industrie du parfumeur et du distillateur, et ils y sont parvenus. C'est ainsi que nous voyons employer journellement les essences artificielles d'ananas, de poires, de cognac, etc. La plupart de celles-ci figuraient déjà à l'exposition de Londres, où elles ont été avantageusement remarquées.

L'emploi de ces essences présente, au point de vue économique, un grand intérêt; aussi allons-nous étudier successivement les modes de préparation de ceux de ces produits qui présentent le plus d'intérêt.

Essence d'ananas. — L'essence d'ananas est une solution alcoolique d'éther butyrique; on l'obtient aisément en distillant un mélange d'acide butyrique, d'alcool fort et d'acide sulfurique concentré.

L'acide butyrique que l'on doit employer se prépare aisément en grande quantité, en soumettant le sucre à la fermentation en présence de matières azotées. Ce procédé, dû à MM. Pelouze et Gelis, est très-simple; c'est celui que tout le monde suit aujourd'hui. On fait une dissolution de sucre (la mélasse est très-bonne pour cette préparation), qu'on amène à peser 10° au pèse-sirop; on mélange avec cette solution une certaine quantité de fromage blanc, environ 100 grammes par kilogramme de sucre, et, lorsque la matière est bien délayée, on ajoute une quantité de craie correspondant à 300 grammes par kilogramme de sucre. Lorsque la masse est parfaitement mélangée, on l'abandonne à une température constante de 25 à 30° centigrades. La fermentation s'établit doucement dans l'intérieur, et lorsque, au bout de six semaines environ, tout dégagement de gaz a cessé, elle est terminée : le lactate de chaux formé d'abord a été entièrement décomposé. On opère alors l'extraction de l'acide butyrique. Pour cela, on emploie le procédé suivant proposé par M. Bentch. On ajoute au liquide son volume d'eau froide, plus une solution de carbonate de soude cristallisé, contenant de ce dernier une quantité égale à une fois et un tiers du poids du sucre. On filtre alors pour séparer le carbonate de chaux formé; on évapore la liqueur filtrée au sixième de son volume, et on y ajoute peu à peu de l'acide sulfurique étendu de son poids d'eau. (Il faut 5 parties 1/2 d'acide sulfurique pour 8 de carbonate de soude.)

L'addition de l'acide sulfurique détermine la séparation de l'acide butyrique : il monte à la surface du liquide sous la forme d'une huile; on l'enlève au moyen d'un siphon; mais, comme la liqueur en contient encore une certaine quantité, on la distille jusqu'à ce qu'un quart environ ait passé à la distillation. En ajoutant à la liqueur distillée du chlorure de calcium fondu, on obtient une nouvelle quantité d'acide butyrique, qu'on joint à la première. Ces deux quantités réunies sont saturées par du carbonate de soude; on décompose encore par l'acide sulfurique, et l'acide butyrique ainsi obtenu, après avoir été mis en contact avec du chlorure de calcium, est soumis à la distillation. Six parties de sucre donnent de 1 1/2 à 2 parties d'acide butyrique pur.

Pour préparer avec ce corps l'éther butyrique ou essence d'ananas, on mélange parties égales d'alcool absolu et d'acide butyrique, auxquelles on ajoute une petite quantité d'acide sulfurique. On peut opérer sur 500 grammes d'alcool, 500 grammes d'acide butyrique et 15 grammes d'acide sulfurique. Le mélange est chauffé pendant quelques minutes, et l'on voit l'éther butyrique venir former une couche à la surface du liquide. On ajoute alors un volume égal d'eau, on enlève la couche supérieure, on distille la liqueur restante, ce qui fournit une nouvelle quantité d'éther, que l'on joint à la première. L'éther butyrique est alors agité avec une solution alcaline étendue, pour enlever l'acide libre. Il faut être réservé dans les lavages, parce que l'éther est sensiblement soluble dans l'eau.

L'essence d'ananas commerciale se prépare en dissolvant 1 litre d'éther butyrique dans 8 à 10 litres d'esprit-de-vin pur; quelquefois aussi, on le dissout dans de l'eau-de-vie ordinaire.

Cette essence ainsi préparée a des usages assez variés; on l'emploie dans la parfumerie, dans la confiserie; elle sert à aromatiser le rhum de mauvaise qualité. Les Anglais se servent de l'essence d'ananas pour préparer une limonade agréable, qu'ils désignent sous le nom de *pine-apple-ale*. Vingt à vingt-cinq gouttes suffisent pour donner une forte odeur d'ananas à une solution de 500 grammes de sucre additionnée d'acide tartrique.

Essence de poires. — Cette essence s'obtient en dissolvant dans l'alcool l'acétate d'amylène (éther acétique de l'huile de pommes de terre).

L'huile de pommes de terre brute n'est pas propre à la préparation de cet éther; il faut la purifier : pour cela, on l'agite avec une solution alcaline étendue, et, après l'avoir séparée, on la distille au thermomètre; on recueille les portions qui passent entre 100 et 112°.

Lorsqu'on veut préparer l'éther acétique, on prend 1 partie d'huile de pommes de terre, 1 1/2 d'acétate de soude fondu, et 1 à 1 1/2 d'acide sulfurique. Le tout, bien mélangé, est maintenu à une douce chaleur pendant quelques heures. En ajoutant de l'eau, l'éther acétique se sépare; on le recueille, on distille la liqueur restante, ce qui fournit une nouvelle quantité d'éther; puis on agite avec de l'eau et une solution de soude.

Si l'on mêle 15 parties d'éther acétique de l'huile de pommes de terre, 1 1/2 d'éther acétique de l'alcool et 100 à 120 parties d'esprit-de-vin, on obtient une essence parfaite, qui donne aux substances auxquelles on la mélange le parfum de la poire de bergamote.

Essence de pommes. — Sous le nom d'essence de pommes, on désigne une solution alcoolique d'éther valérianique de l'huile de pommes de terre. On l'obtient, comme produit secondaire, lorsqu'on prépare l'acide valérianique, en distillant l'huile de pommes de terre avec l'acide sulfurique et le bichromate de potasse; mais, pour en préparer une quantité notable, il est nécessaire d'éthérifier l'acide valérianique.

Pour préparer l'acide valérianique, 1 partie d'huile de pommes de terre est mélangée avec 3 parties d'acide sulfurique, avec précaution et petit à petit; on ajoute ensuite 2 parties d'eau. On chauffe en même temps, dans une cornue tubulée, une solution de 2 parties 1/4 de bichromate de potasse dans 4 1/2 d'eau; on introduit alors, tout doucement et par petites portions, le premier liquide, de manière à maintenir une douce ébullition dans la cornue. Le liquide distillé est saturé avec du carbonate de soude, et évaporé à siccité pour

obtenir du valérianate de soude. Il suffirait, pour obtenir l'acide valérianique, de décomposer ce sel par l'acide sulfurique ; mais on peut employer directement le valérianate de soude pour la préparation de l'éther.

En effet, on prend 1 partie en poids d'huile de pommes de terre, qu'on mélange avec précaution, avec une quantité égale d'acide sulfurique ; on ajoute 1 partie 1/2 de valérianate de soude bien sec, et l'on maintient quelque temps la liqueur au bain-marie. En ajoutant de l'eau, l'éther se sépare ; on le purifie, comme on a fait pour les composés précédents. Il faut éviter avec soin de chauffer trop fort.

Lorsqu'on étend cet éther de cinq à six fois son volume d'alcool, on obtient un produit qui prend une odeur de pomme très-agréable.

Essence de cognac, essence de raisin. — La composition de ces essences n'est pas aussi bien déterminée que celle des précédentes. M. Hoffmann pense qu'elles constituent un éther ou un mélange d'éthers de la série amylique. Le rapport du jury de l'exposition de Londres, dont M. Hoffmann faisait partie, en parle dans ces termes : Un examen superficiel de ces huiles a démontré, d'une façon indubitable, que c'étaient des composés amyliques dissous dans une grande quantité d'alcool, et il est curieux de voir une substance (l'huile de pommes de terre) qu'on élimine avec le plus grand soin dans la fabrication de l'eau-de-vie, à cause de sa détestable odeur, venir, sous une autre forme et en minimes quantités, fournir le parfum même de l'eau-de-vie à celles qui en manquent.

Ces essences sont, en effet, employées, en Allemagne surtout, à donner l'arome de l'eau-de-vie de Cognac aux eaux-de-vie de mauvaise qualité.

M. Hoffmann, qui a bien étudié la question de ces essences artificielles, pense que bien d'autres éthers pourront donner des résultats semblables ; il signale surtout l'éther caprylocétique découvert par M. Bouis. D'un autre côté, *The american annual of discovery* assure que l'on peut, au moyen de certains éthers, produire presque tous les parfums : l'essence de géranium, l'extrait de mille-fleurs, etc. ; mais il n'indique pas quels sont les corps que l'on peut employer dans ce but.

Huile artificielle d'amandes amères ou essence de mirbane. — Cette essence n'appartient plus à la série des éthers, c'est un composé d'un tout autre ordre. Elle provient de l'action de l'acide nitrique sur la benzine, et les chimistes le désignent sous le nom de *nitro-benzine*. MM. Hoffmann et Mansfield ont, les premiers, signalé la présence de grande quantité de benzine dans l'huile de houille ; c'est de ce moment (1849) que date la fabrication sérieuse de l'huile artificielle d'amandes amères.

La méthode employée, en Angleterre, pour sa préparation a été établie par M. Mansfield, et est très-simple. Son appareil consiste en un large tube de verre ayant la forme d'un serpentin ; à sa partie supérieure il se bifurque, et chacune des deux branches porte un entonnoir. Un filet d'acide nitrique concentré coule lentement par l'un des entonnoirs ; l'autre fournit la benzine. Les deux liquides se rencontrent à la bifurcation, et l'attaque s'opère avec dégagement de chaleur. En suivant le serpentin, le nouveau composé se refroidit ; on le recueille à l'extrémité inférieure. La nitro-benzine ou essence de mirbane ainsi obtenue a besoin d'être purifiée ; pour cela, on la lave à l'eau, puis avec une solution alcaline.

La nitro-benzine ainsi préparée ressemble beaucoup, par ses caractères physiques, à l'essence d'amandes amères ; elle est employée, dans l'industrie, pour parfumer les savons, et il est probable qu'elle est susceptible d'autres applications.

ÉVAPORATION. Nous avons décrit en détail, à l'article SUCRE, l'appareil Degrand, qui emploie la vapeur d'eau comme moyen de chauffage : par son passage à travers les liquides, et sa condensation par le contact des nouveaux jus avec les tubes dans lesquels circule la vapeur produite par l'ébullition des jus sucrés. Cet appareil réunit les conditions de bon travail et d'économie qui en ont fait le succès ; toutefois, depuis quelque temps, un appareil combiné par un Français, M. Rillieux, et adopté dans les sucreries de la Louisiane, est venu lui disputer la palme, et avec le même soin apporté dans la construction, en proportionnant convenablement les diverses parties qui le composent, doit donner une plus grande économie de combustible d'après les principes sur lesquels repose son fonctionnement. Pour analyser les différences qui existent entre ces deux appareils, nous emprunterons à M. Claudel (*formules, etc.*) un exemple d'évaporation de jus sucrés par la vapeur, sans supposer aucun appareil spécial.

Soit à concentrer en une heure 5,000 kilog. de clairce, c'est-à-dire de sirop avant la cuisson. Ce sirop, composé ordinairement dans les raffineries de 30 parties d'eau pour 70 parties de sucre, pour être amené à 47° de l'aréomètre, degré ordinaire de concentration, perd à peu près 15 p. 100 d'eau ; ce qui fait 750 kilog. pour 5,000 kilog. de sirop. La température d'ébullition de la clairce étant de 110° et sa chaleur spécifique moitié de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 5,000 kilog. de 20° à 100° est $\frac{5,000 \times 80}{2} = 225,000$ unités, ce qui correspond à la chaleur dégagée par la condensation de $\frac{225,000}{550} = 409^k,1$ de vapeur d'eau. La quantité totale de vapeur à fournir pour élever la température de la clairce de 20° à 110° et lui faire perdre 15 % d'eau est donc $750 + 409,1 = 1159,1$ kilog.

Cet exemple montre tout l'avantage des dispositions de l'appareil Degrand, imitées de celles qui avaient si bien réussi dans les appareils de distillation. On voit que, théoriquement, en employant des étendues de surface de condensation suffisantes on pourra économiser toute la chaleur nécessaire pour échauffer la clairce, employer pour cela la chaleur latente de la vapeur dégagée par la cuisson, c'est-à-dire dans l'exemple précédent économiser 225,000 unités de chaleur, l'équivalent de 409 kilog. de vapeur.

Telle est l'importante économie que l'appareil de Degrand permet de réaliser. Toutefois il ne semble pas impossible de diminuer encore la quantité de chaleur nécessaire pour effectuer la cuite de la clairce. Le progrès possible repose sur l'emploi de l'évaporation à de basses températures, dans le vide. Plus limitée dans la pratique pour les raffineries, l'économie possible est très-considérable lorsqu'il s'agit de jus sucré ne renfermant que 10 p. 100 de sucre. C'est, en effet, dans les sucreries de la Louisiane plutôt que dans les raffineries que l'application de ces idées a été faite par M. Rillieux. Son appareil a parfaitement réussi, et on voit que, dans le cas d'extraction du sucre pour les proportions indiquées, ce serait environ 4,000 kilog. à vaporiser et non plus 750 kilog., étant d'ailleurs à remarquer que l'abaissement du point d'ébullition croît rapidement avec la diminution de la richesse saccharine de la liqueur. C'est par une espèce de rotation de la vapeur, rendue utile par l'interposition des surfaces métalliques, et rendue possible par l'abaissement du point d'ébullition, par la diminution de pression qu'opère l'appareil Rillieux et un autre appareil fonctionnant d'après les mêmes principes qu'avait construit, peu de temps avant sa mort, l'habile M. Pecqueur.

Soient cinq chaudières renfermant toutes 1,000 kil. de clairce, et disposées de telle sorte que la première soit chauffée par la vapeur sortant d'une chaudière à vapeur, recevant la cinquième partie de la vapeur calculée dans l'exemple ci-dessus ; que la vapeur produite par l'évaporation serve à échauffer la seconde chaudière et à y produire l'évaporation, et ainsi de suite jusqu'à la dernière, dont la vapeur se rend dans un condenseur. Il est clair que si la cuite s'opérait comme nous la supposons ici, elle serait obtenue par un peu plus du cinquième de la vapeur qui serait nécessaire avec des appareils à feu nu, puisque toute la chaleur employée à évaporer aura successivement servi à cuire les quatre autres cinquièmes de la liqueur sucrée. Il importe de remarquer qu'une quantité de chaleur supplémentaire pour chaque chaudière, ou, ce qui est la même chose, une quantité de travail employé à mouvoir les pompes à air, est nécessaire pour que, dans la pratique, les choses se passent ainsi que nous l'avons supposé. Autrement l'opération ne peut s'effectuer qu'avec une extrême lenteur, car la seule cause du passage de la chaleur par condensation de la vapeur de la chaudière qui précède celle que l'on considère, n'a lieu qu'à cause du degré moins élevé qu'exige l'évaporation de chacune d'elles à mesure qu'on se rapproche de la dernière, qui cuit dans le vide, ce qui ne correspond qu'à une faible différence de température, par suite à une condensation très-lente.

M. Cail, l'habile constructeur, n'admet guère qu'un nombre de chaudières supérieur à trois soit avantageux, bien que l'inventeur en ait souvent employé cinq en Amérique ; et encore en augmentant considérablement les surfaces de chauffe, et surtout celle de la dernière chaudière, pour compenser la différence du degré d'évaporation de chaque chaudière, enfin en partant d'une pression élevée et en faisant faire un notable travail aux pompes à air.

La première ayant une surface de chauffe égale à 1, la deuxième a une surface égale à 5, et le vide est de 70 centimètres ; la troisième a une surface égale à 20, et le vide de 60 centimètres, tant par l'action d'un condenseur à eau que d'une puissante pompe à air.

La quantité de vapeur condensée est toujours égale à celle qui a été envoyée de la chaudière à vapeur, mais cette vapeur a indirectement produit trois évaporations au lieu d'une.

Nous avons insisté sur ces considérations parce que les avantages de cette nouvelle disposition ne sont pas très-faciles à apercevoir, que cet emploi multiple de la même chaleur paraît à priori avoir quelque chose d'analogue avec le mouvement perpétuel ; mais en réalité on voit qu'on ne fait qu'utiliser la chaleur dégagée par la vapeur chassée de la dissolution sucrée, qu'employer la conductibilité de la chaleur à travers les solutions, avec l'interposition la plus convenable de séparations métalliques. Théoriquement, l'utilisation de la chaleur contenue dans la vapeur dégagée d'une chaudière ne peut aller au delà de l'échauffement vers 100° du liquide contenu dans les chaudières suivantes, qui par suite de la diminution de la pression produit l'effet d'évaporation cherché, c'est-à-dire vaporiser une quantité d'eau égale à cinq à six fois son poids ; mais c'est bien là l'utilisation la plus complète qu'il soit possible d'obtenir dans ce genre de travail. Pratiquement, il faut se tenir au-dessus de cette limite pour obtenir une rapidité de travail avantageuse ; mais les résultats sont encore considérables, puisque MM. Cail annoncent des économies de 10 à 60 °/o pour des appareils à triple et quadruple effet, comparés aux appareils imparfaits généralement adoptés.

F

FER. Les progrès de la métallurgie du fer depuis le commencement du siècle, ont presque exclusivement consisté à organiser sa production à l'aide du combustible minéral. Ce grand progrès de la civilisation moderne, qui a permis d'abaisser considérablement le prix du fer, et d'appliquer les bois à d'autres usages qu'à faire du charbon, ne devait pas faire renoncer à la fabrication à l'aide du combustible végétal dans quelques contrées où il ne saurait avoir d'autre emploi profitable, et où la qualité des minerais permet d'obtenir des fers d'une qualité supérieure. Certains pays même, où la diminution du prix du fer menaçait une ancienne industrie, ont pu, grâce à d'heureux progrès dans la fabrication et l'organisation des usines, retrouver une véritable prospérité.

On comprendra tout l'intérêt de cette question si l'on réfléchit qu'aujourd'hui encore, dans la plus grande partie de la France et dans tout l'ouest de l'Europe, en Russie, en Suède, etc., la fabrication du fer se fait au moyen du charbon de bois, c'est-à-dire que la fonte obtenue dans un haut fourneau au charbon de bois, est affinée dans un foyer à tuyère avec le même combustible. Ce mode d'affinage, dans lequel on opère sur de petites masses, exclut presque forcément l'emploi des grandes machines à cingler et à laminer, et entraîne celui du marteau. L'opération métallurgique d'abord, puis l'élaboration mécanique absorbent ainsi une quantité considérable de main-d'œuvre, triple environ de celle que demandent les élaborations analogues dans les usines dites à l'anglaise ; la consommation de combustible est en outre fort considérable.

Par un progrès économique important, depuis une quinzaine d'années, il s'est établi dans le centre et le nord de l'Europe (en Autriche, en Suède et en Russie), de grandes usines où le travail est organisé au moyen du bois sur les mêmes bases adoptées dans les forges à houille de l'occident, c'est-à-dire au moyen des fours à réverbère et des laminoirs. Ce système, applicable pour toutes les usines qui peuvent recevoir, par flottage ou par quelque autre mode économique de transport, de grands approvisionnements de bois, a eu pour conséquence immédiate une grande réduction de main-d'œuvre, fort appréciée dans les pays où la population fait souvent défaut au milieu d'immenses ressources en matières premières. Toutefois, il restait encore beaucoup à faire. L'emploi du bois à son état ordinaire, pour des opérations demandant des températures très-élevées, donnait lieu à des consommations considérables et à des produits irréguliers et de qualité inférieure. Ces imperfections ont été évitées dans les établissements de M. le comte Egger, dont les produits ont été admis à l'Exposition universelle, et cela au moyen des dispositions suivantes :

1° Remplacement du bois ordinaire par du *ligneux*, ou bois débarrassé, au moyen d'une dessiccation artificielle faite à l'usine même, des 30 ou 40 p. 100 d'eau hygrométrique qu'il contient habituellement. Cette dessiccation préalable permet de réaliser, d'une ma-

nière bien plus simple et bien plus économique, les effets calorifiques nécessaires.

2° Emploi de fours à reverbère spéciaux dits *gasofen* ou *fours à gaz*, pour le puddlage et le réchauffage au moyen du ligneux.

Les caractères distinctifs de ces fours sont la grande dimension du foyer dans le sens vertical, et l'emploi d'un courant d'air forcé qui se subdivise en deux courants partiels : l'un, amené sous le foyer en quantité proportionnelle à la quantité du ligneux que l'on veut brûler ; l'autre qui, après avoir été chauffé préalablement, débouche par une large tuyère à l'entrée même du laboratoire du fourneau, au-dessus du pont.

Il résulte de ces dispositions que le foyer, chargé toujours d'une grande quantité de ligneux en excès, fournit, à l'entrée du rampant, des gaz combustibles exempts de toute trace d'oxygène libre.

Pour fonctionner dans les meilleures conditions, les registres qui sont à la disposition de l'ouvrier doivent être manœuvrés de manière que la tuyère fournisse à chaque instant, en air chaud, la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion complète de ces gaz.

On voit que le principe sur lequel se fait la combustion dans ces fours n'est pas nouveau : il est celui qui a été proposé par Ébelmen pour brûler de menus combustibles dans de bonnes conditions (Voir COMBUSTION). C'est exactement celui que nous avons vu appliquer, il y a déjà longtemps, par les métallurgistes américains, lesquels puddlent et réchauffent le fer au moyen des anthracites de la Pensylvanie, anthracites qui ne contiennent presque aucun élément volatil, et qu'on parvient cependant à faire brûler avec une très-longue flamme. Toutefois, M. le comte Egger n'en a pas moins le mérite d'avoir fait le premier l'application de ce principe au combustible végétal sur une grande échelle, et dans des conditions vraiment manufacturières. De là, le procédé nouveau s'est répandu dans un grand nombre d'autres usines et a été bientôt étendu au lignite et à la tourbe.

C'est dans la réunion du progrès économique réalisé par l'organisation de grandes forges pour le travail au bois, et du progrès technique résultant de l'emploi du combustible à l'état gazeux, c'est-à-dire de la manière la plus avantageuse, tellement avantageuse qu'elle annule dans quelques cas la différence de prix du combustible, qu'est le salut des usines qui peuvent continuer le travail au bois. Il s'agit évidemment de celles qui peuvent se procurer ce combustible en masses considérables à un prix modéré, et disposent d'un travail moteur presque gratuit, ce qui répond en général à des moyens de flottage et à de puissantes forces hydrauliques.

FIBRES VÉGÉTALES TEXTILES. La possibilité d'employer des fibres de nouveaux végétaux pour la fabrication des tissus, a été étudiée avec beaucoup d'ardeur en Angleterre, et beaucoup d'échantillons intéressants figuraient à la dernière exposition.

« Il est un groupe de végétaux, dit le rapporteur de la classe du jury chargée de leur examen, où l'on peut s'attendre à trouver particulièrement des fibres textiles, c'est la famille des urticées. Aussi dans les catalogues de collections publiés en 1851 par les jurys de Londres, on trouve plus d'une espèce de cette famille. En tête de toutes les autres semble se placer l'*Urtica utilis*, ou ramieh, originaire de l'archipel indien, Java, les Moluques, etc., etc. L'un de nous, M. Decaisne, s'est particulièrement attaché dans quelques-uns de ses nombreux travaux à faire connaître et estimer les qualités des fils de ramieh, qui paraissent avoir plus de ténacité que ceux du chanvre, et une force d'extension bien supérieure à celle du lin. On s'occupe activement d'introduire en Europe la culture de l'*Urtica utilis* dans des conditions suffisamment économiques. A côté de cette espèce si précieuse, l'Exposition nous a montré la chinagrass des Anglais, *Boehmeria nivea* de la Chine, qui sans contredit est une matière textile très-estimable ; le *B. tenacissima*, dont on peut espérer des tissus souples et résistants, le *Maoutia Puyo*, qui paraît avoir les mêmes qualités, puis encore le *Sarcochlamys pulcherrima*, etc. D'ailleurs, la plupart de ces plantes sont cultivées dans leur pays natal pour les fibres qu'on en extrait.

« L'Inde anglaise avait exposé de beaux chanvres, provenant du *Cannabis indica*, qui n'est sans doute qu'une variété du *sativa*. Parmi les liliacées, on paraît devoir remarquer surtout les fibres de *Corchorus olitorius*, *Triumfetta lobata* et *semitriloba*, *Grewia occidentalis* ; puis nous avons vu un grand nombre de fibres de malvacées. M. le docteur Royle et plusieurs colons de l'Inde avaient exposé une série fort intéressante de papiers fabriqués avec le jute ou *Corchorus olitorius*, le bandekai ou *Hibiscus esculentus*, le *Daphne cannabina*, le *Pandanus odoratissimus*, le *Bambusa arundinacea*, l'*Agave americana*, etc. A Ceylan, M. Thwaites nous signalait le *Gnidia eriocephala* comme particulièrement propre à la fabrication des papiers.

« En un mot, après avoir étudié toutes ces expositions, on a pu se convaincre que si nos nations de l'Occident ont à demander à la science de nouvelles ressources en matières textiles, celle-ci pourra choisir au milieu d'un grand nombre de plantes filamenteuses celles vers lesquelles il faudrait diriger les tentatives du commerce. Ce fonds de richesses, en réserve pour nos besoins, s'augmente encore si nous jetons spécialement les yeux sur les monocotylédonées filamenteuses.

« Beaucoup de ces fibres, et particulièrement celles des musacées, des yucca, des agaves, etc., si abondantes dans la plupart des pays chauds, et qui, outre leur production spontanée, semblent, par leur culture facile, promettre des tissus à très-bon marché, se sont malheureusement montrées jusqu'ici d'une extraction pénible, et n'ont pu, d'ailleurs, être employées à autre chose qu'à la corderie ou la fabrication des papiers. Enroidies et agrégées par une gomme abondante et très-difficile à séparer, elles n'ont pu jusqu'ici se prêter à la filature et au tissage. Quant à leur extraction, elle offre des difficultés sérieuses et a souvent des inconvénients graves pour les ouvriers qui la pratiquent. On doit regretter tant d'obstacles quand on songe à la réputation que sa ténacité a value, dans la marine, au chanvre de Manille, *Musa textilis* ; quand on considère les fibres brillantes des *sansiviera*, des yucca, des agave. »

FONDATIONS TUBULAIRES. On emploie de temps immémorial dans les Indes des puits en briques pour les fondations quand il existe un sous-sol de sable ou d'argile. Le terrain est si mouvant dans certains endroits, que des pilotages seraient sans efficacité ; une sonnette est d'ailleurs été une machine beaucoup trop compliquée pour les Indous, et, dans certaines provinces, on n'eût pu se procurer des pilotis qu'à grands frais. Le procédé fort ingénieux qui a été adopté est tout à fait approprié à la nature du terrain et au genre de matériaux dont on dispose. Ajoutons qu'une religion qui déifie les grandes rivières, qui favorise la construction de temples sur leurs bords, et dont les cérémonies s'accomplissent, en partie, dans le lit même des fleuves, met ses sectateurs dans la nécessité de trouver un moyen de fonder dans les terrains mouvants.

La méthode indoue de fondation par puits consiste à creuser le sol jusqu'à ce qu'on rencontre l'eau, à placer alors une couronne de bois, à construire au-dessus un tube en maçonnerie de briques, et à le faire descendre par draguage intérieur et charge de poids.

Le diamètre d'un puits est généralement de 7 pieds 6 pouces (2m,29) à l'extérieur et de 3 pieds 6 pouces (1m,40) à l'intérieur. On enlève la terre d'abord avec un outil qui ressemble à une houe. Quand la profondeur de l'eau est de 4 à 5 pieds (1m,23 à 1m,54), on emploie le *jham* : c'est une drogue à manche très-court, fixée à l'extrémité d'une corde qui passe sur une poulie placée au-dessus du puits. Un ouvrier plonge avec cet outil et creuse la terre ; quand le jham est chargé, on le hisse par la corde.

Les puisatiers travaillent ainsi sous l'eau, revenant à chaque instant à la surface pour prendre haleine ; ils excavent d'abord au centre du puits, ensuite près du mur et quelquefois sous la couronne, de manière à maintenir le mouvement bien vertical ; ils se relayent d'heure en heure, sans interruption, pour que les maçonneries descendent d'une manière continue, et qu'elles ne puissent pas adhérer fortement aux terres.

Les Anglais ont conservé ce procédé, en remplaçant la poulie par un treuil ; cependant, quand il faut creuser à plus de 20 pieds (6m,10) sous l'eau, ils préfèrent généralement se servir de machines à draguer. Le jham a été employé quelquefois jusqu'à des profondeurs de 40 et 50 pieds (12m,19 et 15m,24), mais avec des fatigues inouïes.

Aux fondations du pont-aqueduc de Roorkee, sir Proby Cautley s'est servi de jhams, que l'on manœuvrait sans plonger, à l'aide d'un long bâton formant repoussoir et d'un treuil élévateur.

On établit généralement les puits par files, avec des intervalles d'un pied (0m,30). Quand ils sont parvenus au terrain solide, on les remplit de béton et on les couvre séparément de voûtes.

Ce mode de fondation est employé pour les ouvrages en lit de rivière. Si la profondeur de l'eau est un peu grande au moment où l'on commence le travail, on établit un batardeau.

Les puits cylindriques laissent forcément un espace assez considérable entre eux. Lorsqu'il est nécessaire d'avoir un massif de fondation, les Indiens emploient des puits carrés qu'ils appellent *kothis*. Leurs assises sont généralement formées de pierres plates réunies par des queues d'aronde en bois.

Des ouvrages importants ont été fondés sur des khotis ; nous pouvons citer comme exemple le pont construit à Nobatpûr, sur le Caramnassa, pour la route de Calcutta à Bénarès. Il fut commencé à la fin du dix-huitième siècle par Nana Fornaviz, ministre de l'État de Pounah. Sa mort arrêta les travaux avant l'achèvement des fondations.

En 1829, Patni Mal, riche habitant de Bénarès, célèbre dans les Indes pour les temples et les ghats qu'il a fait construire, entreprit de compléter à ses frais l'œuvre de Nana Fornaviz ; il fit enlever les sables de la rivière, qui recouvraient les anciens ouvrages. On trouva un massif général de fondation de 60 pieds (18m,29) de largeur, allant d'une berge à l'autre ; il était formé de kothis de 15 pieds (4m,47) de côté, descendus à travers le sable jusqu'à un banc d'argile, à une profondeur de 20 pieds (6m,10). On dragua les sables qui se trouvaient dans les puits, et on rencontra à diverses hauteurs des massifs de remplissage en maçonnerie. On les compléta par du béton. L'édifice fut ensuite construit sans difficulté, d'après un projet de M. James Princep : 3 arches en plein cintre, de 53 pieds (16m,85) d'ouverture ; piles de 13 pieds (3m,69) d'épaisseur ; largeur de la voie, 25 pieds (7m,62).

Dans les localités où le bois est à bas prix, les Indous emploient des kothis en madriers. Enfin, dans quelques circonstances, ils se servent seulement de caisses sans fond, qu'ils appellent *sundooks*.

Les puits ne peuvent pas être jointifs, ce qui est un grand inconvénient dans certains ouvrages. Le colonel Colvin, ayant à construire un barrage sur le Somoé, afin de faire une prise d'eau pour le canal de Delhi, imagina de réunir deux puits sur le même neemchuck : c'est ainsi qu'on appelle la plate-forme inférieure en charpente qui, pour les simples tubes, a la forme d'une couronne. Il établit deux lignes contiguës de ces massifs doubles, en ayant soin de croiser les joints. Le travail a été facile, et le succès du barrage complet.

Cette disposition a été imitée. On a multiplié les massifs ayant plusieurs puits sur un même neemchuck ; c'est ce qui constitue la méthode colvinienne, que l'on appelle aussi méthode des blocs. Elle doit à sir Proby Cautley de grands développements. Au canal de Delhi on a descendu d'une seule pièce des fondations de culée avec leurs murs en aile. Au canal du Gange, on a employé des blocs qui présentent en plan un carré de 32 pieds (9m,75) de côté. Les massifs colviniens sont plus faciles à conduire que les puits isolés, mais il ne faut pas que les vides soient trop écartés ; une distance de 3 pieds (0m,91) de l'un à l'autre est considérée comme un maximum.

Au pont aqueduc de Roorkee, une pile est fondée sur huit massifs, contenant chacun quatre puits octogonaux. Le diamètre du cylindre inscrit est de 5 pieds 6 pouces (1m,67). Les puits sont à 8 pieds 6 pouces (2m,59) d'axe en axe. Les blocs sont espacés de 3 pieds (0m,91) ; ils présentent en plan un carré de 20 pieds (6m,10) de côté. Un massif à deux puits est placé en prolongement pour chaque arrière-bec ou avant-bec. Les blocs de culée ont 26 pieds (7m,92) de côté. Enfin, pour empêcher les affouillements, deux lignes de massifs à deux puits, aussi rapprochés que possible, comprennent entre elles les empierrements du radier.

Tous les massifs, au nombre de 288, ont été descendus à 20 pieds (6m,10) de profondeur sous le lit de la rivière. Pour faciliter l'abaissement, on recouvrait chacun d'eux d'une plate-forme à contre-fiches, que l'on chargeait de sable.

Le neemchuck de l'un des blocs à quatre puits se compose de six forts racinaux croisés par sept traverses. Des madriers placés entre elles, sur les racinaux, composent le plancher.

La descente des maçonneries n'est pas un mode de construction nouveau en Europe pour les puits de village. Nous tenons de M. Le Masson, inspecteur général des ponts et chaussées, que cette méthode est suivie depuis longtemps en Alsace ; on l'emploie aussi dans le nord de la France, et probablement ailleurs. Les travaux sont faits dans les sécheresses à l'aide de petits épuisements.

En 1825, Brunel, pour établir à Rotherhithe le puits qui donne accès au tunnel sous la Tamise, descendit en terre une tour de 42 pieds de hauteur et de 50 pieds de diamètre (12m,80 et 15m,24), portant une machine à vapeur. Tout le monde connaît les détails de cette belle construction ; nous rappellerons seulement que la maçonnerie était fortement serrée par des boulons entre deux préceintes, l'une supérieure, l'autre inférieure, et qu'au-dessous de cette dernière était une couronne en fonte armée d'un tranchant. Plus tard, Brunel descendit jusqu'à 80 pieds (24m,38) de profondeur les maçonneries du puits du tunnel sur la rive gauche de la Tamise à Wapping. (Voir le Mémoire de M. Henry Law, *Quarterly papers of engineering*, 1845.)

Depuis les travaux de Brunel, on a employé des puits en maçonnerie pour diverses constructions ; plus tard, on s'est servi de tubes métalliques.

L'embarcadère de Milton-on-Thames est le premier ouvrage que l'on cite comme ayant été foncé au moyen de tubes en métal employés comme batardeaux. Les

fondations du pont de Chepstow sont l'une des plus belles applications de ce système.

Le docteur Potts a proposé d'enfoncer les tubes en y faisant le vide. Son brevet est daté de décembre 1843, et la spécification, de juin 1844. L'eau qui afflue dans le tube sous l'aspiration produite y soulève le sable ou la vase, et la pression atmosphérique agissant à sa partie supérieure le fait graduellement descendre. De temps en temps il faut enlever la calotte du tube, et draguer les parties soulevées du sol.

Quand le terrain est compacte et qu'à une certaine profondeur l'aspiration reste sans effet, Potts propose d'employer de larges tubes ouverts par le haut, dans lesquels on entretiendrait de l'eau. On y descendrait un tuyau d'aspiration ou trompe (*an elephant*). Dans le brevet qu'il a pris en France, Potts parle de faire des dragages dans les rivières par des trompes.

L'emploi du vide dans les tubes a donné des résultats. On a souvent cité cette méthode avec éloge ; cependant le succès n'a jamais été complet. Nous ne croyons pas que l'on ait employé des trompes. Les procédés de Potts paraissent abandonnés aujourd'hui. Nous devons remarquer que, quand on emploie des tubes avec épuisement, l'eau désagrége le sol en le traversant, comme dans la méthode de Potts.

M. Triger a fait connaître à l'Académie des sciences de Paris, dès 1841, les résultats avantageux qu'il avait obtenus de l'emploi de l'air comprimé pour ouvrir un puits de mine dans un terrain où pénétraient les eaux de la Loire. Il avait employé un tube en tôle, et l'avait fait descendre à coups de mouton. En juin 1845, rendant compte à l'Académie de nouveaux travaux de ce genre, M. Triger proposa l'emploi de tubes avec air comprimé, pour fonder des piles de pont.

Le procédé de M. Triger a été employé plusieurs fois dans les mines. Nous citerons les travaux de Strépy-Bracquegnies, où M. de la Roche épuisait en partie les eaux, et les refoulait en partie par la compression de l'air à 3,70 atmosphères.

En 1851, MM. Fox et Henderson essayèrent d'établir, par la méthode de Potts, les fondations du pont de Rochester dont ils avaient l'entreprise. Ils trouvèrent, sous les vases de la rivière, de fortes pièces de charpente que l'on suppose être les débris d'un ancien pont. Le vide ne pouvait être d'aucun avantage; il fallait repousser l'eau des tubes pour couper les bois. M. Hughes, qui dirigeait les travaux, proposa de recourir au système de M. Triger : on le fit avec un plein succès. Chaque pile a été fondée sur 14 pieux en fonte de 6 pieds 6 pouces ($1^{m},98$) de diamètre. La seule difficulté fut dans la sous-pression, qui ne put être vaincue que par des poids considérables, dont l'application donna quelque embarras.

Les travaux du pont de Rochester ont eu un grand retentissement, et la méthode tubulaire avec pression pneumatique est maintenant tout à fait entrée dans la pratique. Sa plus belle application est la fondation de la pile centrale du pont de Royal-Albert.

A l'endroit où elle est construite, la profondeur de l'eau à mer haute dépasse 70 pieds ($21^{m},34$). Le fond est une couche de vase de 13 pieds ($3^{m},96$) d'épaisseur, au-dessous de laquelle on trouve le rocher.

M. Brunel employa un tube de 35 pieds ($10^{m},67$) de diamètre, avec pression pneumatique; mais, pour diminuer la sous-pression, il a placé un deuxième tube de 27 pieds ($8^{m},23$) de diamètre dans l'intérieur du premier, et il ne comprime l'air que dans la *jaquette* : c'est le nom que les ouvriers donnent à l'espace annulaire compris entre les tubes. On a construit ainsi un puits en maçonnerie parfaitement enraciné dans le rocher ; on épuise à la manière ordinaire dans le cylindre intérieur, et on y drague la vase.

M. Brunel a augmenté le diamètre du grand tube de 2 pieds ($0^{m},61$), à une hauteur de 40 pieds ($12^{m},19$) environ, afin qu'on pût désassembler ses différentes parties de l'intérieur, après l'achèvement des maçonneries, et pour qu'une petite déviation dans la verticalité ne gênât pas la construction de la pile.

Nous ajouterons quelques mots à cette intéressante notice sur les ponts tubulaires, que nous empruntons à M. de la Gournerie, savant ingénieur des ponts et chaussées.

Le système du pont de Rochester a été employé avec succès dans plusieurs travaux récemment exécutés en France, au pont de la Mulatière à Lyon, aux fondations des piles du viaduc de Nogent, sur la ligne de l'Est. En principe, un tube en tôle est un admirable moyen de former un batardeau, et il suffit, par l'effet de la pression de l'air, de luter en quelque sorte le bas de l'enveloppe en tôle, pour pouvoir faire avec une grande rapidité des travaux du genre le plus difficile qui se rencontrent dans l'art des constructions. On peut dire que c'est aujourd'hui le moyen par excellence d'effectuer les fondations des ponts de premier ordre. On l'emploie aujourd'hui pour construire les piles du pont sur le Rhin à Strasbourg qui doit réunir les chemins de fer de France et d'Allemagne.

M. Perdonnet, administrateur du chemin de fer de l'Est pour lequel s'exécute ce grand travail, et par conséquent bien au courant des détails de l'opération, en parle ainsi dans son livre intitulé : *Notions générales sur les chemins de fer*.

Lorsqu'il s'agit de fonder les piles du pont du Rhin, à construire vis-à-vis de Kehl, dans un fond de gravier d'une profondeur indéfinie, on songea à employer le système adopté pour le pont de Rochester, mais il fut jugé long et coûteux. L'extraction des déblais, surtout au travers des écluses d'air, est très-lente et fort dispendieuse. M. Fleur Saint-Denis, ingénieur des ponts et chaussées, modifia ainsi le système.

Au lieu de cylindres en fonte, il emploie d'énormes caissons rectangulaires en tôle, longs de 7 mètres et larges de $3^{m},80$, fermés dans le haut et ouverts dans le bas comme les cylindres en fonte. Le caisson étant moins haut que le cylindre, est, une fois posé sur le sol, entièrement plongé dans l'eau; dans la paroi supérieure formant couvercle sont percés trois trous cylindriques : deux trous latéraux, chacun de 1 mètre de diamètre, et un trou central de $1^{m},30$. Deux tuyaux ou cheminées cylindriques en tôle sont fixées au bord des trous latéraux et s'élèvent jusqu'au-dessus de l'eau. Elles sont surmontées chacune d'une chambre à air. Le trou du milieu donne passage à un troisième tuyau ou cheminée centrale qui est ouverte aux deux bouts et descend à travers le caisson jusqu'au fond de la rivière.

Lorsqu'on vient à refouler de l'air comprimé dans les deux cheminées latérales, l'eau se retire de celles-ci et du caisson, mais non du tube du milieu. Les ouvriers sont introduits dans le caisson ou en sortent par les cheminées latérales et au moyen des écluses d'air. Quant aux déblais, ils sont extraits au moyen d'une noria logée dans la cheminée centrale en traversant une colonne liquide. Les godets se chargent à la partie inférieure du gravier que les ouvriers enlèvent avec leurs outils tout autour de la caisse et repoussent en bas de la cheminée centrale, et se vident à la partie supérieure sur un plan incliné qui conduit le gravier dans un bateau où on le recueille.

Sur les parois latérales du caisson en tôle s'élèvent au dessus de l'eau les parois d'une caisse en bois dont les joints sont calfatés et qui est recouverte d'une enveloppe de tôle. Cette caisse imperméable sert en même temps à contenir l'eau et le sable au-dessus de la caisse en tôle. Des ouvriers placés à l'intérieur sur la caisse coulent du béton, qui sert en même temps à charger la

caisse et à former le corps de la pile autour des cheminées. Les caisses en tôle sont suspendues à des treuils au moyen desquels on en modère et règle la descente.

Le caisson étant arrivé à la profondeur voulue, on le remplit de béton et de maçonnerie. On achève également de combler l'espace entre les cheminées et les parois du caisson en bois, et on peut même enlever les cheminées en remplissant le vide qu'elles occupaient.

Au moment où nous écrivons, ce grand travail n'est pas terminé, mais l'excavation poussée sans encombre jusqu'au terrain solide, après avoir enlevé le sable sur une profondeur de près de 20 mètres, prouve que le succès est parfaitement assuré, car le travail le plus long et le plus difficile est heureusement terminé pour la première pile.

FONDERIE. M. Kermarsch, technologue allemand justement estimé, a donné une table utile que nous croyons devoir reproduire. Elle permet de calculer approximativement le poids qu'aura une pièce fondue quand on connaît celui de son modèle. Les chiffres portés dans les colonnes expriment les coefficients par lesquels il faut multiplier ce dernier poids.

MATIÈRE du MODÈLE.	MATIÈRE DE LA PIÈCE FONDUE.					
	Fonte	Laiton.	Cuivre rouge.	Bronze.	Métal de cloche ou de canon.	Zinc.
Pin ou sapin	14	15,8	16,7	16,3	17,4	13,5
Chêne . . .	9,0	10,1	10,4	10,3	10,9	8,6
Hêtre. . . .	9,7	10,9	11,1	11,3	11,9	9,1
Tilleul. . .	13,4	15,1	15,7	15,5	16,3	12,9
Poirier. . .	10,2	11,5	11,9	11,8	12,4	9,8
Bouleau . .	10,6	11,3	12,3	12,2	12,9	10,2
Aune. . . .	12,8	14,3	14,9	14,7	15,5	12,2
Acajou. . .	11,7	13,2	13,7	13,5	14,2	11,2
Laiton . . .	0,81	0,95	0,99	0,98	1,00	0,84
Étain avec 1/4 ou 1/3 de plomb. .	0,89	1,00	1,03	1,03	1,12	0,85
Plomb . . .	0,64	0,72	0,74	0,74	0·78	0,64

Il va sans dire que ce tableau ne peut servir lorsque le modèle contient des pièces qui ne doivent pas être reproduites dans l'objet fondu, ainsi que cela arrive souvent dans les ouvrages creux.

FONDERIE EN CARACTÈRES. La transformation générale de cette industrie que nous faisions pressentir à la fin de notre article FONDERIE, est aujourd'hui accomplie dans plusieurs pays et le sera bientôt partout, par l'adoption de la machine américaine à fondre les caractères, au moyen de systèmes qui sont des variations et modifications diverses de la machine à pompe d'injection. Quoique nous ayons déjà donné des développements peut-être exagérés à la description de cette industrie curieuse, mais peu importante au point de vue du chiffre de sa production, puisqu'elle crée seulement les outils de l'imprimerie et que ces outils sont de longue durée, nous devons la compléter par la description de cette curieuse machine et relater en quelque sorte l'histoire de l'invention première, avant que ses nombreuses modifications causent bientôt, comme il arrive d'habitude, une confusion sur l'origine de l'invention qui la fasse réclamer par plusieurs pays.

Vers 1815, M. Didot-Saint-Léger, l'inventeur, pour une bonne part au moins, de la machine à papier continu, vint expérimenter chez ses parents, MM. Firmin Didot, la première machine qui ait été tentée pour imiter le travail de l'ouvrier fondeur en caractères. On doit considérer cette machine comme la première dans laquelle on se soit posé le problème dont on voit aujourd'hui la solution se compléter. En effet, au milieu de la complication de cette machine dont on peut juger par un petit modèle qui se voit au Conservatoire des Arts et Métiers, où il a été déposé par l'inventeur, on reconnaît les organes essentiels de ce genre de machines. Le principal et le plus difficile à imaginer, la pompe plongée dans la matière, s'y trouve pour la première fois; mais comme elle n'était pas réglée de manière à pouvoir lancer une quantité de métal proportionnelle à la lettre à fondre, que les leviers portant les pièces du moule étaient très-longs et replaçaient mal le moule à la place convenable, cette machine ne put fonctionner, et projetait de tous côtés le métal fondu. On se contenta en France de le condamner comme impropre à un bon service, et on n'en parla plus.

En Amérique, au contraire, M. White, de Boston, attaqua le même problème, et, après bien des modifications à la machine primitive, en transformant, diminuant la grandeur des pièces, réglant par un ressort et un arrêt à vis le mouvement de la pompe à clapet métallique mieux établie, arriva à construire une machine à fondre qui lui donna de bons résultats vers 1835 ou 1836.

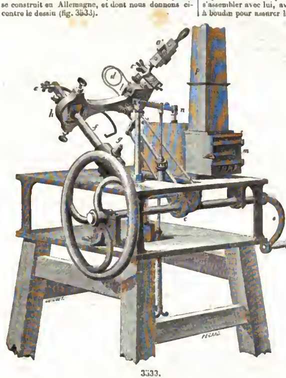
Exploitée en secret et sur une grande échelle, cette invention procura de grands bénéfices à l'inventeur, et elle était tellement peu connue qu'en Europe, lorsque les premières machines à fondre, plus ou moins analogues, furent importées d'Amérique, personne ne pensa qu'il s'agît d'une invention ancienne et expérimentée, et l'on crut n'avoir à juger que des essais dont le succès était douteux. D'ailleurs, les modèles importés n'étaient pas celui perfectionné par M. White, mais des appareils construits par des imitateurs qui avaient eu plus ou moins connaissance de l'invention première et qui avaient, soit par ignorance des moyens employés, soit pour faire des machines différentes de celle brevetée, changé les dispositions des pièces et les communications de mouvement.

La première machine qui arriva en Europe fut celle de M. Brandt, qui importa de Philadelphie la machine qui a été adoptée et construite un très-grand nombre de fois en Allemagne. Son fonctionnement simple en fit le succès, malgré la qualité assez médiocre des produits fabriqués; le métal, obligé de remonter un assez long conduit incliné à 45°, sort en pluie et donne, pour peu que le métal soit peu fusible, renferme peu d'étain, des caractères poreux, à cavités intérieures, globulaires et peu résistants.

En France, une autre machine importée par M. Stewart, qui avait eu une communication plus incomplète de la machine de White, fonctionnait avec un moule placé horizontalement, et la matière, arrivant en ligne droite et parcourant peu de chemin, conservait sa qualité en arrivant dans le moule; malheureusement, le fonctionnement était peu assuré, les causes d'arrêt nombreuses, par l'effet des grains de métal qui s'interposaient entre le moule et l'extrémité du conduit, et qui ne pouvait plus être essuyé après la fonte de chaque lettre, comme dans le cas précédent, ce qui faisait naître des crachements fréquents. Aussi, acquéreur de ce brevet, lorsque j'exerçais la profession de fondeur en caractères, je reconnus bientôt la nécessité de placer obliquement le moule, employant une disposition prévue par le brevet (par connaissance incomplète des autres inventions), ce qui conduisait à construire la machine allemande. Aussi l'introduction en France, faite à cette époque, de la machine allemande nous semblait-elle impossible en présence du brevet dont nous étions acquéreur; néanmoins nous succombâmes dans une action en contrefaçon que nous dûmes intenter pour la conserva-

tion de nos droits. Nous ne nous permettrons pas d'attaquer ce jugement, auquel nous sommes redevables d'avoir appris comment se traitent les affaires de brevet devant les tribunaux civils, connaissance qu'il serait bien profitable à la plupart des inventeurs d'acquérir.

Nous donnerons seulement ici une description sommaire de la machine de Brandt perfectionnée telle qu'elle se construit en Allemagne, et dont nous donnons ci-contre le dessin (fig. 3533).



3533.

m est le fourneau dans lequel se fait le feu, *p* la cheminée, *n* la capacité qui contient le métal fondu et la pompe cylindrique, qui se meut dans un corps de pompe alésé dans la fonte du fourneau. Cette pompe, sans cesse tirée de haut en bas par un ressort en hélice placé à la partie inférieure, que l'on bande à l'aide d'un écrou placé sur la barre de fer rond qu'entoure le ressort, et repoussée à l'aide d'une tige assemblée avec le levier qui passe dans la tête de la pompe, tige mue à l'aide d'un galet qui repose sur un excentrique monté sur l'axe que l'on fait tourner à l'aide d'une manivelle, et qui est calé, est de forme telle, qu'une cylindrée soit lancée par la pompe au moment convenable pour former la lettre fondue par chaque tour. Le métal sort par un conduit partant du fond de la chaudière et débouchant au milieu du bord supérieur de l'avant du fourneau. Le moule est porté sur un bras en fonte *b*, oscillant autour de la barre *f* sur laquelle il est assemblé par deux pivots à vis qui permettent d'en faire varier la position ; cette barre elle-même est ronde et assemblée par un collier de serrage à vis *g* dans une partie cylindrique du bâti, ce qui permet de la faire tourner et de faire varier sa longueur, et donne le moyen d'assurer l'inclinaison convenable du moule pour qu'il s'applique parfaitement sur l'orifice de sortie de la matière. Le bras fait une oscillation pour chaque tour de l'axe *o*, par l'effet d'un excentrique circulaire monté sur cet axe, et portant un collier portant des branches qui viennent s'assembler avec lui, avec l'intermédiaire d'un ressort à boudin pour assurer la pression.

La pièce du dessous du moule est montée sur l'extrémité de ce bras, à l'aide de deux vis; la pièce du dessus est assemblée de même à une pièce montée à charnière sur ce bras. Cette pièce peut se mouvoir par un rappel *c'* pour varier les approches, et porte un talon saillant *a* qui reçoit l'extrémité de la tringle *s* recourbée en équerre. Le point d'assemblage par un écrou, ou plutôt le point où un écrou l'empêche d'abandonner le montant *f*, étant situé au-dessus de celui où le bras est assemblé, on voit que celui-ci ne pourra s'abaisser sans que les deux pièces du moule s'approchent, ce qui permet d'assurer le serrage au point voulu, et inversement fait ouvrir le moule lorsque le bras s'écarte du fourneau dans l'autre partie de la course de l'excentrique, par l'effet d'un arrêt placé sur la tringle *s* en avant du montant *f*. Enfin le mouvement de la matrice, toujours maintenue en place par un archet *d*, dans le système du moule américain décrit précédemment, est soulevée par une bascule fixée sur le dessus du bras qui agit par une extrémité munie d'une vis sur la matrice, et dont l'autre extrémité munie d'un rouleau est soulevée par un plan incliné glissant sur la face du bras et mû par une tringle disposée comme la tringle *s*, à l'extrémité de laquelle il est assemblé.

On voit que toutes les opérations nécessaires pour la fonte d'une lettre par tour de roue sont exécutées par cette machine. En effet, nous avons vu que la fonte d'une lettre à l'aide du moule à main comprenait les opérations suivantes :

1° Puiser le métal ; 2° le verser dans le moule ; 3° donner au moule une secousse convenable pour que le métal vienne bien se mouler dans la matrice ; 4° ôter l'archet qui presse la matrice ; 5° déchausser, faire sortir de la matrice l'œil de la lettre fondue ; 6° ouvrir le moule ; 7° faire tomber la lettre ; 8° refermer le moule ; 9° remettre l'archet.

Les opérations 1, 2 et 3, sont exécutées parfaitement par le coup du piston de la pompe qui chasse le métal fondu avec un excès de pression suffisant pour mouler les lettres les plus délicates plus sûrement que ne peut le faire la main de l'ouvrier le plus habile ; on ne pro-

duit jamais de lettres imparfaites. Nous avons dit comment étaient produites les opérations 4 et 5, en imitant la solution du moule à main américain. Par l'écartement du bras en fonte qui porte le moule, du fourneau, la tringle écartant la pièce *a* ouvre le moule et fait tomber la lettre fondue. Cet effet est produit par l'ouverture même du moule à l'aide d'un petit artifice qui consiste à placer dans le blanc de la pièce de dessus une petite saillie (obtenue en passant dans un petit trou une petite broche, du diamètre d'une aiguille à coudre), qui n'altère en rien la lettre et qui la force à adhérer à la pièce du dessous. Il s'ensuit que lorsque le moule s'ouvre en décrivant un arc de cercle par l'effet de la charnière qui le réunit au bras en fonte, un crochet en tôle d'acier adapté à la pièce du dessous accroche la lettre, pousse le côté de l'œil formé dans la matrice et la détachant la fait tomber. Les opérations 6 et 7 sont donc ainsi effectuées simultanément. Enfin les opérations 8 et 9 sont produites simultanément par la continuation de la rotation de la manivelle qui replace tout dans l'état initial.

Cette machine simple, légère à manier, débarrassée des chances de crachement de matières, parce que l'écartement du moule de l'orifice de sortie de la matière permet à l'ouvrier d'essuyer celui-ci chaque fois avec un bâton entouré d'un linge huilé qu'il tient de la main droite, et cela sans ralentir le mouvement de rotation produit à l'aide de la main gauche, est une solution complète du problème de la fonte des caractères à la mécanique. Elle permet de faire, avec une économie de 75 p. 100 sur la main-d'œuvre, 20,000 bonnes lettres par jour au moins, à l'aide d'un seul ouvrier, et en Allemagne seulement on compte aujourd'hui une centaine au moins de machines semblables.

De ce que nous disons que le problème est résolu, on aurait tort de conclure que nous prétendons que cette machine est parfaite, sans aucun défaut ; nous voulons dire seulement que des perfectionnements seulement sont encore à obtenir pour que le mode de fabrication se modifie complétement, qu'ils rendront seulement la révolution plus rapide et plus complète. Voyons ce qui a déjà été fait dans cette voie.

Les défauts de cette fabrication sont : 1° que les lettres sont creuses, les tiges sans grande résistance ; 2° que la régularité des pentes et de l'alignement des lettres fondues est inférieure à celle de la bonne fabrication à la main.

1° Pour ce qui est du premier inconvénient, la pratique indique bientôt que les produits tout à fait défectueux résultent surtout de l'irrégularité du chauffage. Si le feu tombe, la section du long conduit qui amène la matière dans le moule se réduit par le métal qui se solidifie le long des parois, et la petite quantité qui passe sort froide et en pluie ; elle se fige donc en laissant des vides nombreux. Le remède partiel se trouve dans le soin de l'ouvrier à régulariser son feu ; le remède radical, c'est le chauffage au gaz avec insufflation d'air au milieu du bec pour produire un chalumeau qui, agissant sur la pompe et le conduit, assure le bon passage du métal, sans échauffer le moule, c'est-à-dire dans des conditions excellentes pour un bon travail. Toutefois la longueur du conduit et l'ascension de la matière empêchent d'obtenir d'aussi parfaits résultats qu'avec un conduit horizontal de peu de longueur. Mais avec un bon chauffage et une addition de 8 à 10 p. 100 d'étain au métal ordinaire, ce qui le rend plus fusible, lui donne un grain fin, on obtient de très-bons produits. L'accroissement du prix du kilogramme de caractère qui résulte de la cherté de l'étain et de sa faible densité est un inconvénient pour le fondeur en caractères, insensible pour l'imprimeur qui fond ses types lui-même et emploie le métal de ceux qui sont hors de service pour en fabriquer de nouveaux.

2° Les irrégularités de la fonte proviennent principalement du système employé pour maintenir la matrice. Un ressort très-fort pour résister convenablement à la chasse du métal, un choc brusque pour soulever la matrice, les efforts considérables mis en jeu pour fermer le moule, toutes ces causes amènent des torsions, des placements défectueux de la matrice, et ne répondent pas bien aux conditions de régularité si bien réalisées sur le moule à main. Aussi faut-il beaucoup de soins pour obtenir de bons produits. Sur des machines différentes de celle que nous venons de décrire on a cherché à diminuer ces inconvénients.

Ces machines, dont nous voulons dire quelques mots, ont été disposées pour remédier à ces défauts et de plus à un autre inhérent évidemment aux machines allemandes, nous voulons parler de l'action destructive du choc qui résulte de leur disposition, qui en limite la vitesse et est pour le moule une cause de dérangements très-nuisibles à la perfection de la production. Les diverses pièces qui le composent finissent bientôt par se déplacer sous l'influence de ces chocs répétés entre des corps métalliques.

Un inventeur anglais, M. Johnson, a combiné une machine qui supprime la plupart de toutes ces imperfections par une disposition toute nouvelle. Le moule est fixe et consiste en une simple fente dans une pièce métallique, dont les deux faces intérieures sont distantes exactement de la grandeur de la force de corps du caractère à fondre. Dans cette entaille glisse une plaque d'acier qui la fermerait exactement si elle n'était arrêtée en arrière, de manière à laisser entre son champ et la surface supérieure de la grosse pièce métallique une épaisseur égale à celle de la lettre à fondre. Le jet étant fait par le prolongement de la même pièce glissante, on voit que si le métal fondu est lancé par une pompe dans un petit conduit horizontal, dont l'orifice débouche au milieu du jet, une lettre sera formée par chaque coup de piston, une matrice étant placée à l'extrémité du vide rectangulaire, et se reculant après la fonte, le porte-matrice ayant un mouvement rectiligne, étant guidé dans des coulisses.

Dans ce système, l'espèce de moule où se forme la lettre n'a pas à s'éloigner du fourneau, parce que l'inventeur se contente de couper le jet et d'enlever la lettre par le mouvement de la plaque glissante sur laquelle la lettre s'est formée. Celle-ci est trop bien soutenue sur toute sa longueur pour qu'elle puisse en souffrir, et elle devient libre sans être faussée comme cela arrive trop souvent avec le système employé pour faire tomber la lettre dans la précédente ; enfin, à cause de la chaleur de l'orifice, le métal ne peut avoir de résistance près de l'extrémité du jet.

Cette ingénieuse machine peut fonctionner avec grande vitesse et donner de très-bons produits ; seulement l'échauffement devient bientôt trop considérable et il faut laisser refroidir le moule, et pour cela reculer le fourneau qui est disposé à cet effet. Cet inconvénient est moindre avec un chauffage au gaz, disposé pour chauffer par un dard la partie du fourneau où est placée la pompe, et si l'on fond du petit caractère qui ne dégage qu'une quantité de chaleur modérée par sa solidification. Mais rien ne remédie au plus grave inconvénient de ce système, l'usure de la plaque glissante, qui ne peut se réparer facilement, et qui bientôt, la chaleur aidant, laisse passer de petites feuilles de métal qui empêchent le mouvement de se produire avec la précision voulue.

Aussi les recherches nouvelles ont-elles porté sur le moyen de modifier la partie de la machine où se forme la lettre, en conservant l'ensemble des dispositions de la machine. On y est assez bien arrivé en reconstruisant à peu près les deux pièces du moule ordinaire, celle du dessous ayant un blanc mobile qui pousse la lettre

fondue après que celle du dessus a été enlevée. Disons que dans ces machines la régularité du replacement de la matrice laisse encore à désirer.

Nous ne parlerons pas des additions de quelques inventeurs consistant à rompre, fretter et couper les lettres, en les soumettant à l'action de pièces qui peuvent facilement agir sur des lettres disposées toujours du même sens et arrivant à la même place. C'est compliquer une machine qui produit à 25 ou 30 centimes le mille la fonte qui vaut aujourd'hui 4f,20 pour faire imparfaitement des façons qui valent 40 cent. le mille. La romperie est seule admissible parce qu'on peut la produire très-simplement, mais non les autres façons. La frotterie exige des soins assez grands pour être bien exécutée, et ce n'est pas trop de machines spéciales pour y parvenir. Nous croyons le problème soluble, non au point de vue de l'économie, mais à celui de la perfection du travail; nous avons tenté nous-même une machine, qui fonctionnait bien, à l'aide de couteaux pouvant être réparés facilement, mais qui coûtait trop cher et ne produisait pas assez pour faire une façon d'aussi peu de valeur.

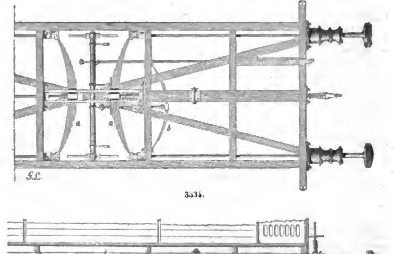
FREIN. Nous devons avant tout dire un mot des limites du problème à résoudre dans l'invention des freins, limites oubliées par un très-grand nombre d'inventeurs. Prétendre arrêter et clouer, pour ainsi dire sur place, un train lancé qui doit à sa vitesse acquise une énorme accumulation de travail mécanique, c'est vouloir arrêter dans leur course plusieurs boulets de canon à la fois, dit avec raison un compte-rendu de l'Exposition. Admettons que ce soit possible, et qu'à la vue d'un danger les wagons puissent, par un frein puissant, suspendre tout à coup leur marche : les voyageurs, eux aussi, tendent à continuer leur mouvement en vertu de la loi d'inertie, et le même effet qui pulvérise à terre l'imprudent qui descend d'un wagon en marche, les projettera l'un contre l'autre avec une effroyable violence. C'est effectivement là ce qui se passe dans les accidents sur les chemins de fer. Ce frein instantané que cherchent des inventeurs, il existe dans cet obstacle que heurte le train, dans cette locomotive ou ce véhicule déraillé contre lequel culbutent les wagons et auquel les voyageurs doivent leur secousse, peut-être mortelle, les wagons eussent-ils résisté au brisement.

La condition essentielle, comme le dit M. Combes, pour la sûreté de la circulation sur les chemins de fer consiste dans la puissance des moyens mis à la disposition du mécanicien pour détruire, à la vue d'un signal ou d'un obstacle qu'il aperçoit sur la voie, la vitesse du train, de façon qu'il soit arrêté, après avoir parcouru une distance aussi petite que possible, sans que, toutefois, l'arrêt soit assez brusque pour exposer les voyageurs à des chocs dangereux ou incommodes, ou le matériel à des pressions capables de l'endommager. Les moyens d'arrêt dont le mécanicien dispose sont la suppression, et, en cas d'urgence seulement, le *renversement* de la vapeur, le serrage du frein du tender. Il avertit en même temps, par un ou plusieurs coups de sifflet, les conducteurs garde-freins des voitures placées en queue et dans la longueur du train, de serrer les freins dont la manœuvre leur est confiée. Le frein du tender est aujourd'hui le seul sur lequel le mécanicien ou le chauffeur, son assistant, puissent agir directement. L'accroissement de dépense que nécessiterait l'augmentation du personnel des conducteurs garde-freins, n'est pas la seule ni même la principale raison qui empêche les compagnies de chemins de fer de placer dans les trains un plus grand nombre de voitures munies de freins qu'elles ne le font généralement. Le nombre de ces voitures, tel qu'il est aujourd'hui fixé par l'usage de chaque compagnie et par les règlements, suffit aux besoins du service, sauf les cas extraordinaires, purement accidentels et fort rares, par conséquent, dans un service d'ailleurs bien organisé. Si on augmentait le nombre des conducteurs garde-freins, on peut prévoir que ces hommes, qui, dans la plupart des cas, pourraient, sans inconvénient, se dispenser d'agir, deviendraient moins attentifs à leur service, de sorte que leur concours simultané pourrait bien manquer précisément lorsqu'il deviendrait nécessaire. Tout le monde comprend donc que, s'il importe de multiplier les moyens d'arrêt, le nombre des freins pour la sûreté des trains en marche, il importe encore plus de les mettre à la disposition directe du mécanicien qui, prévenu de l'existence d'un obstacle sur la voie, ayant en face de lui le danger dont il apprécie l'imminence et dont il serait la première victime, agira aussitôt lui-même avec une énergie et une promptitude proportionnées à cette imminence, sans avoir de signal à transmettre à personne. Aussi la construction de freins appliqués à toutes les voitures d'un train, liés les uns aux autres ou avec celui du tender par des mécanismes tels, que le serrage de celui-ci opéré par le mécanicien ou son chauffeur mette tous les autres en action, a-t-elle été, depuis l'origine des chemins de fer, l'objet des recherches d'un grand nombre d'ingénieurs et de mécaniciens.

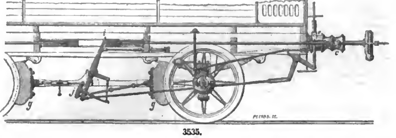
La question présentait un problème de mécanique difficile à résoudre. Les mécanismes qui lient les freins entre eux doivent être fort simples et n'ajouter aucune difficulté nouvelle à la composition des freins, qui doit être opérée avec une extrême promptitude. Les freins doivent agir d'une manière certaine, mais graduée, en obéissant à la manœuvre du mécanicien; en même temps il est indispensable qu'ils ne puissent être mis en jeu par les seules réactions mutuelles des voitures, dans la marche ordinaire du train, dans le mouvement de recul, dans les manœuvres de gare. Il faut qu'ils cessent d'agir dès qu'ils ont produit l'effet voulu, c'est-à-dire dès que le train est arrêté, et que le mécanicien puisse repartir aussitôt qu'il aura desserré lui-même le frein du tender.

Le système de M. Guérin satisfait pratiquement à la plupart des conditions précédentes; il n'est applicable qu'aux voitures pourvues de ressorts de choc et de traction, comme le sont toutes celles qui entrent dans la composition des trains de voyageurs et même beaucoup de wagons à marchandises. On sait que les voitures de ce genre entrant dans la composition d'un train, sont liées les unes aux autres par deux étriers ou anneaux allongés qui réunissent les barres d'attelage de deux wagons consécutifs et peuvent être rapprochés l'un de l'autre, au moyen d'une tige en fer filetée en vis à ses deux extrémités. On rapproche les extrémités lorsque l'on compose le train, de manière à amener au contact les tampons que l'on appelle *tampons de choc*. Le plus ordinairement, la barre d'attelage placée sous le wagon et suivant son axe est fixée, par son extrémité postérieure, au milieu d'un ressort à lames courbé en un arc de cercle d'un grand rayon, dont la corde est à peu près égale à la largeur de la voiture mesurée intérieurement aux pièces longitudinales du châssis rectangulaire qui la supporte (fig. 3534 et 3535). Les tampons *de choc* sont fixés à l'extrémité de fortes tiges en fer rond dont les extrémités postérieures viennent s'appuyer sur les deux extrémités de l'arc formé par ce même ressort, qui est à la fois ressort de traction et ressort de choc. Lorsque le train s'avance, tiré par la machine locomotive, les pressions mutuelles des tampons de choc sont nécessairement moindres que la traction exercée par les barres d'attelage; les tampons cessent même souvent d'être en contact. Il en résulte que le train s'allonge et que les ressorts de choc et de traction de deux voitures consécutives s'avancent parallèlement à eux-mêmes, sous ces voitures, du côté des

traverses extrêmes du châssis entre lesquelles se trouve le double étrier d'attelage. Si, au contraire, on fait reculer le train par l'action de la machine locomotive, qu'il est indispensable de faire, dans beaucoup de cas, soit pour des manœuvres de gares, soit pour revenir à une station que l'on a dépassée, etc. Ce serait trop



3534.



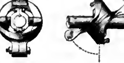
3535.

les pressions mutuelles des tampons de choc deviendront plus grandes que la traction exercée par les barres d'attelage; le train se raccourcira; les ressorts de choc et de traction de deux voitures consécutives reculeront parallèlement à eux-mêmes sous ces voitures, en s'éloignant des traverses extrêmes des châssis en regard, jusqu'à ce que les milieux de ces ressorts viennent s'appuyer sur une traverse fixe encadrée dans ces châssis et qui limite leur excursion. Le même effet se produira lorsque, le train étant en marche, le mécanicien supprimera la vapeur et serrera le frein du tender. La vitesse de la locomotive et du tender diminuera par la force retardatrice du frottement, et ces masses retardées réagiront sur la voiture qui suit le tender, celle-ci sur la suivante, et ainsi de suite jusqu'à la dernière.

Plusieurs ingénieurs et mécaniciens ont déjà tenté de mettre à profit le mouvement de *recul* des ressorts de choc et de traction pour agir, par l'intermédiaire de leviers et d'un arbre de couche, sur les sabots des freins et mettre ceux-ci en prise avec les roues; rien n'est, en effet, plus simple et plus facile à réaliser. Mais la difficulté était d'imaginer des dispositions telles, que la *condensation* du train serrât les freins quand on voudrait arrêter un train en marche, et qu'elle n'eût aucun effet quand on voudrait faire reculer un train, ce allonger ce rapport que de rappeler les divers moyens inventés pour atteindre ce but, dont quelques-uns, très-simples, très-ingénieux, méritent certainement à leurs auteurs la reconnaissance publique, quoiqu'ils n'aient pas eu de succès dans la pratique. Voici celui que M. Guérin a imaginé et qui diffère essentiellement de tous ceux que l'on avait tentés avant lui, à notre connaissance.

La barre d'attelage fixée, par son extrémité postérieure, au milieu du ressort qui doit agir sur le frein, lorsque le wagon est en repos, les tiges des tampons tout à fait en dehors et le ressort le plus rapproché de la traverse antérieure du châssis, est saillante en avant de celle-ci sur une grande longueur. A la suite du crochet qui la termine antérieurement sont ménagés un renflement et une embase. Derrière celle-ci tombe une patte ou cliquet, mobile autour d'un axe horizontal fixé sur le devant de la traverse du châssis, et qui s'oppose à ce que la barre d'attelage puisse s'enfoncer sous le wagon et, par conséquent, à ce que le ressort de traction puisse reculer et agir sur le levier du frein. Le train, une fois composé, pourra donc reculer librement sous l'action de la locomotive, ou le wagon isolé sous l'impulsion des hommes d'équipe qui le pousseraient par les tampons de choc. Cependant la patte ou cliquet qui s'oppose à l'enfoncement de la barre d'attelage se

lève et dégage celle-ci par le seul effet de la marche du train en avant à une vitesse de 4 à 5 kilomètres par heure. Ce résultat est obtenu de la manière suivante : (fig. 3536, 3537 et 3538) sur le milieu de l'essieu de la


3536. 3537. 3538.

voiture, au-dessus duquel passe la barre d'attelage, est fixé un corps ayant la forme d'une sorte d'anneau mobile autour d'un axe perpendiculaire à l'essieu et solidaire avec lui. Lorsque le wagon est au repos, l'anneau est couché sur l'essieu par l'action d'un ressort à boudin qui entoure l'axe dont je viens de parler. L'essieu venant à prendre un mouvement de rotation, la force centrifuge tend à redresser l'anneau et à le ramener dans un plan perpendiculaire à l'essieu. Dès que le mouvement de rotation est assez rapide pour que l'action de la force centrifuge surpasse l'action en sens inverse du ressort, le redressement a lieu. Or la patte ou cliquet d'arrêt porte une branche en retour d'équerre, appliquée contre la face antérieure de la traverse et qui est poussée par une petite tige reliée par un boulon à une barre de fer mobile autour d'un axe horizontal, fixée au châssis et qui pend sous le wagon. L'action d'un contre-poids amène cette barre à presser l'anneau fixé sur l'essieu. Quand l'anneau est couché, elle est maintenue à une distance de l'essieu mesurée par le rayon extérieur de l'anneau; mais, lorsqu'il est redressé, la barre vient s'engager dans un sillon qui est ménagé sur tout son contour, dans son épaisseur; l'effet du relèvement est donc de diminuer la distance de la barre à l'essieu, et ce rapprochement persiste tant que l'anneau est relevé. Le reste se devine aisément : le changement de position de la barre, déterminé par le relèvement de l'anneau, a eu pour résultat de relever la patte ou cliquet qui empêchait l'enfoncement de la barre d'attelage, et les choses restent en cet état, tant que la roue continue à tourner assez vite pour que l'anneau reste relevé. Le ressort peut donc céder à l'action des tiges des tampons de choc, et opérer, dans son mouvement de recul, le serrage du frein. Ainsi les freins agissent bien spontanément, sous l'action de forces retardatrices, créées en tête du train en marche par la suppression de la vapeur et le serrage du frein du tender; mais ils n'agissent pas lorsque le train, partant de l'état de repos, est poussé en arrière par la locomotive ou toute autre force appliquée aux tampons de choc.

Il fallait encore, pour que l'appareil fût applicable, remplir deux conditions : la première, que les freins ne fussent pas serrés par les seules réactions qui ont lieu entre les voitures du train, lorsque la vitesse est ralentie accidentellement ou par la volonté du mécanicien qui, néanmoins, ne veut pas arriver à l'arrêt complet; la seconde, que les freins, une fois serrés, s'écartassent spontanément et sûrement des jantes des roues, aussitôt que le train est arrêté. M. Guérin satisfait à l'une et à l'autre par l'addition d'un contre-ressort curviligne et à lames d'une force beaucoup moindre que le ressort de choc, appuyé, par ses extrémités, sur une traverse placée dans le châssis de la voiture, en avant de celui-ci et relié à lui par une tige en fer; la force de ce contre-ressort a été déterminée par le tâtonnement. Dans les expériences variées qui ont eu lieu sur les lignes de Paris à Orléans et de Paris à Corbeil, par une Commission nommée par le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, le contre-ressort adapté par M. Guérin aux voitures de la compagnie d'Orléans a toujours suffi pour prévenir toute action intempestive des freins automoteurs, lors des ralentissements de vitesse des trains en marche et pour déterminer la *dilatation* spontanée du train après l'arrêt complet, mais seulement après l'arrêt.

Je dirai seulement que les commissaires, d'accord avec les ingénieurs attachés à l'exploitation du chemin de fer d'Orléans, ont reconnu que le système de freins automoteurs de M. Guérin est d'un usage sûr, facile, exempt de complications et d'inconvénients.

Toutefois la nécessité de ne jamais placer les wagons à frein à l'extrémité des convois, où leur action serait nulle; les soins nécessaires pour la conservation en bon état des appareils, et leur prix d'achat ont suffi pour en arrêter la propagation. Preuve nouvelle de l'extrême simplicité nécessaire dans le matériel des grandes exploitations de chemins de fer.

FUMÉE. La question de la fumivorité des fourneaux a acquis beaucoup d'intérêt dans ces dernières années, parce que les administrations municipales de Londres et de Paris, dans des vues d'assainissement et de propreté de ces grandes capitales, ont assujetti les établissements industriels à brûler leur fumée, à ne plus jeter dans l'air les flots de fumée noire qui sortaient de leurs cheminées. Les résultats consignés dans le savant article FUMÉE de M. Debette ont été utilisés, c'est-à-dire que les grilles Tailfer, les entrées d'air supplémentaire au moment de la charge, les doubles foyers ont été employés, mais sans résultats autres que ceux obtenus précédemment, sans qu'ils aient conduit à un système satisfaisant pour tous les cas.

Une nouvelle analyse de la combustion, une nouvelle manière d'opérer pouvait seule, en faisant avancer la question, rendre la combustion plus économique, tout en faisant disparaître la fumée.

Deux moyens permettent aujourd'hui d'atteindre le but. Le premier, d'une application malheureusement un peu compliquée, est celui de la conversion des combustibles en gaz combustibles, et nous l'avons donné à l'art. CHAUFFAGE AU GAZ; la chaudière Beaufumé rend ce système pratique pour le chauffage des chaudières à vapeur.

Un second système à la réalisation pratique duquel un ingénieur distingué, M. Dumery, s'est appliqué, repose sur une modification de la grille, partie du fourneau mal étudiée jusqu'ici, et qui règle la température de la combustion, comme la section de la cheminée et des conduits de fumée la quantité de combustible qui peut être brûlé dans l'unité de temps. Ce système consiste à ne pas laisser la fumée se produire, à ne permettre aux produits de la distillation préalable du combustible de prendre naissance que dans des conditions favorables à leur combustion immédiate.

Nous empruntons à des notices de M. Dumery l'exposition des principes sur lesquels repose son appareil, qui se résument en disant qu'au lieu de chercher à brûler la fumée, ce qui est presque impossible, il l'empêche de prendre naissance.

Il établit d'abord que la fumée est un corps incombustible utilement, profitablement, et qu'une fois formée, elle est incapable d'aucun effet utile.

Le système actuel, même avec le meilleur mode de chargement, ne permet pas aux gaz, une fois surtout qu'ils ont dépassé le combustible placé sur la grille, de brûler assez bien pour qu'il n'y ait pas de fumée.

Le système de combustion à flamme renversée donne une combustion complète, parce que le charbon frais se place là sur le charbon incandescent, se distille rapidement, et le tirage de la cheminée forçant les gaz combustibles à traverser une couche de houille embrasée, la combustion est entière, mais le rayonnement est perdu, et le faible rendement utile des combustibles par ce système y a fait renoncer.

Pour réunir les avantages de ce système à ceux du foyer ordinaire, M. Dumery a supprimé en partie la grille horizontale du foyer et n'a conservé que les deux barreaux du centre.

A chacun des deux rectangles formés par les barreaux restants et la paroi de brique du cendrier, il a fait aboutir deux cornets circulaires de section croissante à mesure qu'ils avancent vers le foyer et ayant une de leurs ouvertures à l'intérieur du foyer et l'autre à l'extérieur de la maçonnerie.

On introduit le combustible par la petite section de l'extérieur, et c'est dans la plus grande, vers le foyer, que tout brûle. La partie intérieure du cornet est percée de fentes qui permettent l'arrivée de l'air atmosphérique; deux *pistons presseurs courbes*, placés des deux côtés du foyer et conduits par une manivelle et des engrenages, s'engagent dans la partie extérieure des courbes et poussent le combustible à mesure que la combustion l'exige. Un fort bâti en fonte relie tout le système d'une manière invariable, et permet de le placer sous un générateur quelconque.

Pour allumer le foyer on remplit les courbes de combustible jusqu'à la naissance des fentes. On place par-dessus un lit de coke éteint à la fin du service de la veille et des bûchettes en bois qu'on allume par le haut. Le coke embrasé échauffe et enflamme la houille; l'hydrogène carboné qu'elle dégage, prenant naissance en un lieu porté à la plus haute température et trouvant de l'air pur, se brûle complétement.

Le combustible est introduit sans peine de l'extérieur par l'action des pistons, sans interrompre le travail du feu, même pour les nettoyages, puisque les scories fondues se retirent à la partie supérieure du foyer.

Pour éteindre le feu, on enlève séparément, au moyen des portes, la houille fraîche et le coke incandescent que l'on étouffe pour servir à l'allumage du lendemain.

Ainsi la houille en contact avec la chaleur par une de ses surfaces ne se distille que d'un côté. L'air frais qui avoisine la grille où repose le charbon froid s'infiltre dans le foyer par l'action du tirage.

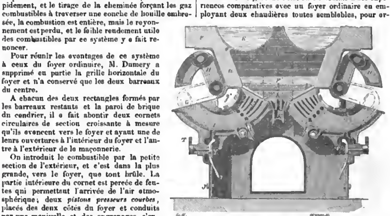
Le mélange d'air pur en abondance et de gaz combustibles naissants s'enflamme au contact de la couche incandescente qu'il traverse, et le développement de la flamme s'opère au-dessus d'une couche de combustible en ignition. Enfin, aucun charbon frais ne peut intercepter le rayonnement du combustible vers la chaudière.

La combustion se règle à volonté en couches minces ou épaisses, et la porte du foyer ne s'ouvre plus pour des chargements réitérés, mais seulement toutes les trois ou quatre heures pour enlever les scories.

Les chauffeurs ne souffrent plus du rayonnement du foyer par la porte, les nettoyages du foyer sont très-faciles et les barreaux de grille durent plus longtemps; la puissance des générateurs est considérablement augmentée par cet appareil, la quantité de houille brûlée par heure pouvant varier de 1 à 6.

Enfin on obtient une combustion complète de la fumée.

Ce système, dont nous donnons une coupe (fig. 3539), est déjà appliqué à un certain nombre de foyers industriels. A la gare de l'Est on l'a soumis à des expériences comparatives avec un foyer ordinaire en employant deux chaudières toutes semblables, pour arriver à constater le rendement des deux systèmes en vapeur.



3539.

Le foyer Dumery a brûlé par heure 60, 80, 100 et 120 kilog. de houille de Sarrebruck, *en tout-venant*, sans une trace de fumée; au-dessus de 120 kilog., la combustion languissait; mais avec des *gaillettes* on l'a portée à 150 kilog. sans une trace de fumée. Le foyer ordinaire, à surface égale, a brûlé jusqu'à 98 kilog. de *tout-venant* et 103 de gaillettes.

Ces deux foyers étaient établis pour 40 kilog. à l'heure; le foyer ordinaire n'a donc pas pu dépasser deux fois et demie sa consommation de règle; le foyer Dumery est allé à près de quatre fois. C'est un grand avantage dans les usines.

Et, chose remarquable, le rendement en vapeur a augmenté avec la quantité brûlée à l'heure.

Avec 80 kilog. brûlés à l'heure, le rendement de vapeur a été de 5,35
Avec 100 kilog. 5,80
Avec 120 kilog. 6,41

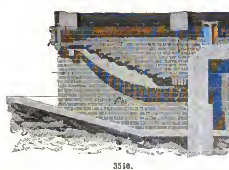
Quant au produit du mètre carré de chaudière en vapeur, qui est de 6 kilog. 2 par mètre carré de chaudières de Cornouailles. nos meilleurs constructeurs de machines fixes vont de 6 à 10. Les auteurs estimés donnent de 15 à 20 kilog. comme une bonne proportion. M. Nozo, ingénieur au chemin du Nord, a fait produire 27 kilog. 5 à une locomotive; les chaudières tubulaires de M. Molinos avec une double insufflation d'air rendent 31 kilog. par mètre carré. Le foyer Dumery atteint 41 kilog. 06 avec du tout-venant et 51 kilog. 75 avec de la gaillette, et l'économie réalisée enfin par le foyer est de 22 p. 100, à produit égal de vapeur.

Enfin, ajoutons qu'avec de la houille de Sarrebruck et la foyer ordinaire consommant de 60 kilog. par heure, la fumée a duré 0,67 du temps total de la combustion. Avec 112 kilog., au maximum, elle a duré 0,87 du temps.

Les foyers de M. Dumery, au contraire, brûlent complétement la fumée même des houilles les plus grasses. Ce sont les seuls à notre connaissance qui réalisent complétement ce résultat.

La faculté de pouvoir augmenter beaucoup la con-

sommation de houille d'un foyer sans nuire à la production de vapeur est d'une grande importance. Il est probable que cette faculté est due à ce que la combustion de la houille grasse s'opérant de la manière la plus complète à une très-haute température et par conséquent sans le grand dégagement de flamme allongée que donnent toujours les foyers ordinaires, cette com-



3540.

bustion s'opère ici dans les mêmes conditions que celle du coke des locomotives, et la presque totalité de la production de vapeur a lieu à la surface directement exposée au rayonnement des foyers.

La facilité du passage de l'air à travers les cornets, qui remplacent une partie de la grille ordinaire souvent encrassée par le mâchefer, permet d'accumuler le combustible et d'obtenir, sans possibilité de production de fumée, ni d'oxyde de carbone, la couche de combustible n'étant jamais épaisse, une modération de la quantité d'air qui traverse le fourneau relativement à la quantité de houille brûlée. Or, de nouvelles et curieuses expériences de M. Burnat, rapportées dans le *Guide du Chauffeur*, tendent à modifier toutes les idées reçues jusqu'ici, et qui, en effet, n'étaient fondées sur aucune donnée positive. Il a constaté, en mesurant pour la première fois la quantité d'air passant par le cendrier des fourneaux à vapeur, que le maximum de rendement, pour une qualité moyenne de houille, correspond à 8 ou 9 mètres cubes, à zéro de température et 0,76 du baromètre, par kilogramme de houille. Ce chiffre est peu éloigné du chiffre théorique indiqué par la théorie comme nécessaire à la combustion, en admettant qu'il n'échappe pas d'oxygène et au contraire très-différent du chiffre de 15 ou 18 mètres cubes habituellement indiqué comme nécessaire pour la combustion complète.

La combustion la plus avantageuse répondant à une production abondante de fumée dans les fourneaux ordinaires, l'utilité de systèmes fumivores fonctionnant sans air additionnel est par cela même démontrée, lorsqu'on est astreint à satisfaire aux conditions de salubrité exigées aujourd'hui presque partout.

C'est surtout dans son application aux locomotives, que ce système un peu compliqué pour bien des chauffeurs moins habiles que les mécaniciens des chemins de fer, nous paraît appelé à un grand succès ; sa construction étant d'une nature analogue à celle de la locomotive.

Grilles à gradins. — Une solution partielle et fort simple du problème de la fumivorité est celle fournie par les *Grilles à gradins de MM. de Marsilly et Chobrzinski.* La donnée de ces grilles, dit M. Grouvelle dans son excellent *Guide du Chauffeur*, se trouve dans un appareil appliqué depuis longtemps en Russie à un petit four de dessiccation du bois. Elle est construite là pour brûler un combustible pulvérulent et sans ténacité. En y ajoutant l'introduction de l'air en lames minces et horizontales donnée par la plaque, elle devait réaliser la combustion de la houille dans les conditions les plus favorables, et donner une fumivorité presque complète. L'appareil consiste en une grille à gradins ou inclinée (fig. 3540), dont les barreaux plats et larges sont disposés à la manière des marches d'un escalier, et se recouvrent les uns les autres. A la suite de cette grille sont quelques barreaux à la manière ordinaire ; le nombre et l'écartement de ces barreaux dépendent de la pureté et de la nature du combustible.

Ce système est appliqué dans des foyers de chaudières à vapeur fixes et aux foyers des locomotives, et dans ce dernier cas il permet, dit-on, la substitution complète de la houille au coke, avec une légère économie en poids, à travail égal. Sur le chemin de fer d'Orléans 105 locomotives à marchandises brûlent exclusivement de la houille avec des grilles à gradins, 66 de même espèce et 7 à voyageurs fonctionnent au chemin du Nord.

D'après des rapports faits sur un service de 19,524 kilomètres, par cinq locomotives avec grilles à gradins, au chemin du Nord, l'économie sur les mêmes machines, avec grilles ordinaires, est par kilomètre, en argent, de 7 centimes.

Les règles principales pour l'établissement de ces grilles, sont :

1° De donner aux grilles environ 1 mètre carré par 60 kilog. de houille à brûler à l'heure ;

2° La section entre les barreaux doit être d'autant plus grande que la houille est plus grasse ; on ne peut pas descendre au-dessous de 0m,18 par kilog. de houille brûlée à l'heure.

3° Le premier barreau doit être à 0m,25 de la chaudière en hauteur.

4° Le chauffeur doit toujours charger près de la porte le combustible frais, après avoir refoulé au fond la houille embrasée.

Perfectionnements apportés à cette grille dans l'atelier de la Compagnie coloniale de chocolat, d'après M. Grouvelle. — On a remarqué sur une grille appliquée à une machine de 20 chevaux de la Compagnie coloniale, que les ouvertures transversales des barreaux en gradins rendaient difficile le service du ringard du chauffeur.

On trouvait aussi que l'air n'arrivait pas assez abondamment au combustible ; on fit alors la même grille en gradin, mais avec les ouvertures des barreaux dans le sens du grand axe du fourneau, ce qui a donné de meilleurs résultats. Nous avons vu marcher cette grille dans l'atelier de la Compagnie coloniale, et avec de la houille de Charleroi la fumée était nulle et la chaudière montait très-vite en vapeur. Cette disposition se rapproche de celle que Watt avait proposée et du moyen de diminuer la fumée que l'habileté d'ouvriers chauffeurs avait su trouver. Il consiste à charger toujours le combustible frais près de la porte pour lui faire subir un commencement de distillation avant de le pousser au milieu de la grille.

Four à la houille pour cuire la porcelaine. — L'emploi de la houille en remplacement du bois est un progrès réalisé aujourd'hui pour la cuisson de la porcelaine. Un fourneau construit par M. Vital Roux est adopté aujourd'hui à la manufacture de Sèvres pour la porcelaine blanche, c'est-à-dire par la fabrique qui recherche par-dessus tout la perfection des produits ; les fabri-

ques du Berry en emploient d'analogues pour leurs fabrications considérables et sans cesse croissantes.

L'intérieur de ce four est le même que celui des fours au bois, seulement le nombre des alandiers est plus considérable; ainsi un four marchant au bois avec 6 alandiers, a dix foyers à la houille. Au-dessous de ces foyers sont des cendriers très-profonds, qui reçoivent l'air de l'extérieur par un conduit souterrain.

Voici le résultat d'expériences faites en 1847 par M. Ébelmen, le savant directeur de la manufacture de Sèvres.

Chacun des dix foyers a été chargé tous les quarts d'heure pendant les trois premières heures; puis on a diminué les intervalles compris entre deux charges consécutives.

Après une cuison de 44 heures, ayant consommé 214 hectolitres de houille, on a défourné; les résultats étaient très-satisfaisants.

La porcelaine était généralement belle et d'une bonne teinte, ne renfermant pas une seule pièce vraiment jaune.

Les cazettes ne sont pas vitrifiées à l'extérieur, ainsi que cela arrive pour les fours chauffés au bois, à cause de la nature alcaline des cendres entraînées par le courant d'air, ce qui est une cause de plus grande durée pour les cazettes.

Le même four qui consomme en moyenne 220 hectolitres de houille qui, à raison de 1 fr. 80 c., valent 396 francs, consommait par fournée 120 stères de bois à 7 fr., soit 840 fr. L'économie est donc de 444 fr. ou 53 p. 100. L'économie définitive sur le prix de revient de la porcelaine courante est évaluée par M. Ébelmen à 16 p. 100 environ; elle est donc considérable.

Ce qui a surtout contribué au succès de ce four, c'est son mode de chargement simultané qui, tout en laissant subsister une atmosphère réductrice, y fait pénétrer un excès d'air qui entre dans le four par toutes les portes des foyers à la fois, au moment du chargement de la grille, expulse une grande quantité de fumée noire. Il en est de même de la cuisson au bois, pendant la durée de ce qu'on appelle *le poste*. On sait que pendant cette partie de la cuisson, les ouvriers font tomber à courts intervalles, dans l'alandier, tout le bois qui le recouvre. La bouche supérieure de l'alandier se trouve découverte, un grand volume d'air pénètre dans le four et en chasse une fumée noire et abondante.

Les fabricants sont unanimes pour affirmer que, sans cette opération, la porcelaine serait généralement jaune et enfumée; pendant les dernières heures de cuisson, on cesse d'agiter le bois et de découvrir l'alandier; une fois, en effet, que l'émail a commencé à fondre, la pâte de porcelaine ne peut plus s'imprégner de fumée.

M. Ébelmen remarquait avec raison, que la conséquence probable de cette découverte sera de forcer le déplacement des fabriques de porcelaine, qui seront bien mieux placées près des houillères que près des gisements de kaolin où elles se trouvent en général aujourd'hui. Il faut, en effet, 7 ou 8 parties de houille pour cuire une partie de porcelaine; on conçoit d'après cela qu'il sera beaucoup plus économique de transporter les pâtes préparées vers les mines de houille, que d'amener la houille près des carrières de kaolin. Aussi depuis l'époque où il énonçait cette conséquence économique, les usines du Berry, Vierzon et autres, ont-elles considérablement augmenté leur fabrication, et ont pris un développement que n'ont pas suivi celles du Limousin.

Il paraîtrait possible de faire un nouveau progrès dans cette fabrication, en employant seulement le chauffage au moyen des gaz combustibles, ce qui permettrait sûrement de diminuer beaucoup les dépenses de chauffage, et rendrait facile la cuisson au milieu d'atmosphères réductives ou oxydantes, ayant défaut ou excès d'oxygène, dont on peut tirer grand parti pour des fonds colorés grand feu, en raison de leur action sur les oxydes métalliques qui servent à produire ces colorations.

G

GALVANOPLASTIE. Une des plus belles découvertes de notre siècle, qui a illustré à bien juste titre les noms de Spencer, de Jacobi, est celle de la galvanoplastie. Pouvoir déposer, mouler à froid un métal sur une surface donnée, obtenir ainsi un moule résistant à la chaleur, aux frottements, etc., c'est sans contredit fournir à la plastique, à toutes les industries basées sur la reproduction de formes modèles, le plus puissant moyen d'action qu'on pût espérer découvrir.

Les applications se sont multipliées sur une très-grande échelle depuis l'époque encore voisine de l'invention, de la rédaction du premier article du Dictionnaire. Nous devons donc le compléter en indiquant les divers perfectionnements que la pratique a fait reconnaître, les heureuses combinaisons qui ont permis de faire d'excellentes applications des produits galvanoplastiques.

Reproduction en cuivre des gravures sur bois. — C'est dans la reproduction des surfaces plates finement gravées, comme celles qui servent à l'illustration du Dictionnaire, que nous suivrons les progrès d'une fabrication qui nous est spécialement connue, progrès qui se sont répétés dans la plupart des autres applications ou qui en proviennent.

Le moule est aujourd'hui fait en gutta-percha, substance admirable pour cet emploi. Malaxée dans l'eau chaude, elle devient parfaitement plastique, sans s'écraser trop facilement, de telle sorte qu'elle prend parfaitement les empreintes les plus fines. Par un trop long usage elle perd de sa plasticité, et se rapproche de la cire à cacheter, mais le mélange avec un quart de gutta-percha neuve lui rend des propriétés plastiques convenables, forme même un mélange préférable à la matière qui n'a pas servi.

Dans les cas de rondes-bosses très-tourmentées ou surtout d'empreintes à prendre sur des matières peu résistantes, on emploie la gélatine mélangée à la mélasse (matière plastique des rouleaux d'imprimerie) ou à la glycérine à la place de la gutta-percha.

La métallisation des moules s'obtient toujours à l'aide de la plombagine, et le tour de main capital pour avoir de magnifiques produits consiste à faire adhérer au relief la plombagine, avant d'appliquer la gutta-percha. Celle-ci se trouve plombaginée et brillante à l'intérieur, comme le sera plus tard le cuivre déposé.

Les piles simples sont toujours les meilleures de toutes, les seules qui ne donnent pas des dépôts de dureté variable, en raison du plus ou moins d'intensité du courant, qui n'exigent pas des frais d'entretien considérables. Seulement il faut avoir soin de veiller à ce que

le bain de sulfate de cuivre ne devienne pas trop acide, ce à quoi on parvient en ajoutant un peu de craie, qui précipite l'excès d'acide sulfurique à l'état de sulfate de chaux.

CREUX EN CUIVRE. — L'emploi de la galvanoplastie pour obtenir des matrices d'objets gravés en relief, afin de les reproduire par les procédés de la fonderie en caractères, est devenu général. Malheureusement le progrès qui en est résulté a un immense inconvénient, je veux parler de la facilité qu'y a trouvée la contrefaçon. Du moment qu'on a pu à l'aide d'un plomb obtenir une matrice en cuivre, on ne s'est pas fait faute de conquérir à peu de frais les richesses de ses confrères, et on cite en Allemagne des fonderies qui possèdent la presque totalité des produits précieux des autres fonderies de l'Europe. Il faut dire que ces produits sont souvent défectueux, à cause des petites imperfections du modèle et du surmoulage qui s'ajoutent les unes aux autres; mais dans beaucoup de cas et avec des soins suffisants, ils sont bien assez parfaits pour que le créateur du type original soit entièrement dépouillé de sa propriété. C'est là un déni de justice regrettable non-seulement au point de vue moral, mais encore au point de vue industriel, en ce qu'un graveur ne peut plus accumuler sur un produit une grande quantité de travail et de soins, lorsque le surmoulage doit venir le priver des bénéfices de l'exploitation, l'empêcher de retrouver la rémunération de son travail. Il faut espérer que les traités internationaux qui s'appliquent à la piraterie artistique comme à la contrefaçon littéraire, permettront d'arrêter les progrès d'une aussi déloyale industrie.

Une observation importante à faire au point de vue technique, c'est qu'il est erroné de croire, comme cela paraît généralement reçu, que la galvanoplastie permet de graver sur les substances les moins résistantes les objets qu'il s'agit de reproduire en cuivre. La reproduction peut sans doute avoir toujours lieu, mais non la gravure en relief, dont les finesses sont nécessairement en raison de la résistance que le corps travaillé offre à l'action du burin. C'est pour cela que l'emploi d'un savon dur de résine au lieu de bois, de bois au lieu d'acier, n'ont pas réussi au grand étonnement d'inventeurs qui, préoccupés de la reproduction, avaient tout à fait négligé les conditions nécessaires pour la création, dans un degré de perfection convenable, du type primitif.

PLANCHES PLATES. — On a tenté de nombreuses applications de la galvanoplastie aux planches plates qui sont employées pour l'impression en taille-douce, surtout pour reproduire et multiplier ces planches qui sont mises hors de service par le tirage d'un nombre d'exemplaires très-limité, qui n'atteint pas en général 3,000, nombre bien insuffisant quand les planches font partie d'une publication de librairie, et doivent faire recourir souvent à la gravure sur planche d'acier qui est plus coûteuse.

La difficulté de cette reproduction consiste dans l'adhérence que contracte le dépôt sur la planche de cuivre. Elle est telle que l'on en a fait la base d'un procédé pour corriger les planches, en faisant déposer un peu de cuivre sur une partie soigneusement décapée.

Le procédé qui a le mieux réussi pour obvier à cette adhérence, consiste à ioder et à exposer ensuite à la lumière la planche à reproduire. L'exposition à la lumière est si utile, qu'en l'absence du soleil, l'exposition à l'air ne suffit pas, tandis qu'après l'action solaire, l'adhérence ne se produit jamais.

Au lieu de reproduire la planche-type, on vient d'inventer avec succès un moyen de lui donner à peu près la résistance au tirage de la planche d'acier. Ce moyen, inventé par MM. Salmon et Garnier, consiste à la couvrir d'un vernis de fer, d'un dépôt très-fin et très-adhérent de ce métal. Les finesses des traits ne sont nullement altérées, et le long service de ce vernis métallique qui peut être renouvelé, assure un tirage pour ainsi dire indéfini.

GALVANOPLASTIE RENFORCÉE. — Chacun sait que les ornements des pièces d'orfèvrerie doivent être d'une grande perfection de détails, comme tout détail qui doit être vu de près. Aussi est-ce le plus souvent par le travail direct de l'artiste, par le repoussé que ces ornements sont produits dans les pièces capitales; mais il faut remarquer qu'alors la reproduction de l'œuvre n'étant plus en question, c'est de l'art que l'on fait et nullement de l'industrie. Lorsqu'il s'agit de ce dernier cas, ou lorsqu'on veut multiplier l'œuvre du maître, c'est à la gravure sur acier, extrêmement dispendieuse, qu'il faut avoir recours si l'on veut éviter la fonte qui, à cause du haut point de fusibilité des métaux employés, ne pouvant être obtenue qu'à l'aide d'un moulage en sable, est nécessairement imparfaite. Il en résulte la nécessité d'un travail considérable de ciselure, qui augmente énormément, quand il est bien fait, le prix des pièces.

Tout ceci est évité par la galvanoplastie. L'empreinte du modèle est d'une exactitude absolue, étant prise à l'aide de gutta-percha un peu chauffée et pressée sur le modèle; elle vient recevoir à son tour, par la galvanoplastie, un dépôt de cuivre ou d'argent qui peut avoir telle épaisseur que l'on désire, en prolongeant suffisamment l'opération. Ce relief est la reproduction exacte du modèle, toutes les vivacités, toutes les finesses s'y reproduisent, et il n'y a plus à s'occuper de ciselure ni de rien de semblable.

Toutefois à ces avantages de perfection, de bon marché dans la reproduction de belles pièces, il y eut d'abord quelques compensations. Souvent la pièce sortait du bain peu épaisse en quelques parties; en général le dépôt est moins fort dans les parties qui paraissent en creux dans le moule; l'assemblage de cette espèce de tôle de cuivre offrait quelques difficultés; elle possédait une sonorité désagréable. Tous ces inconvénients ont disparu par l'emploi d'un tour de main qu'ont acquis les bons ouvriers qui se sont livrés à ce travail, et qui consiste à remplir avec de la soudure forte toutes les cavités intérieures de la pièce, de manière à lui donner toutes les qualités désirables comme poids, comme résistance, en faire en un mot des pièces comparables de tout point aux pièces fondues, tout en leur conservant leurs qualités de perfection absolue qui dispensent de retouche, de ciselure coûteuse et bien souvent imparfaite.

Les maisons Christofle, Odiot et les principaux orfèvres sont entrés avec succès dans une voie qui nous paraît devoir conduire à des résultats extrêmement féconds pour la perfection et surtout la vulgarisation des belles pièces d'orfèvrerie.

Tel est le but que s'est proposé d'atteindre et qu'a atteint effectivement un des premiers M. H. Bouillet, ingénieur de la maison Ch. Christofle et Cie, et qui peut se résumer ainsi :

Supprimer dans sa fabrication courante l'emploi des matrices en acier toujours très-coûteuses, et dont les résultats comme perfection de travail laissent souvent à désirer.

Économiser la main-d'œuvre, surtout pour les œuvres d'art qui eussent exigé l'emploi de la fonte et de ciselure;

Exécuter avec précision et facilité des pièces dont la richesse d'ornementation, sans augmentation de dépense, n'a pas de limites;

Substituer aux pièces creuses des pièces massives, dont les avantages pour l'ameublement et l'orfèvrerie destinée aux usages de la table sont évidents.

Voici maintenant le mode d'opérer, supposant obtenu, en opérant comme nous l'avons indiqué plus haut, le creux en cuivre d'épaisseur assez grande, et surtout for-

mé de cuivre bien homogène (ce qui exige une opération exécutée d'une manière continue, sans variation notable du courant, de la température, de l'acidité des liqueurs), de manière à pouvoir être chauffé au rouge sans se déformer, sans qu'il se déclare des écailles ou des fentes.

On remplit le creux intérieur de ces cuivres avec du laiton coupé en petits morceaux cylindriques, et le tout est soumis à la chaleur intense du chalumeau à gaz, qui fond et soude les divers fragments avec l'aide du borax, avec eux-mêmes comme avec la coquille galvanoplastique. Le creux ainsi renforcé est dressé, coupé, limé, cintré même au besoin avec la plus grande facilité.

GRAISSAGE. La propriété des corps gras de diminuer les frottements, par l'interposition de leurs molécules entre deux surfaces auxquelles elles adhèrent par leur viscosité, est utilisée dans toute machine; elle est la base du moyen le plus important d'empêcher le travail moteur de se perdre en résistances passives pour donner un travail utile, un résultat industriel maximum. Nous avons déjà donné les compositions les plus convenables pour voitures, pour surfaces entre lesquelles il s'exerce des pressions considérables; nous voulons ici parler surtout des applications où les pressions sont petites et les vitesses très-grandes, comme dans la filature, et qui ont été étudiées par M. Dollfus et M. Hirn (*Bulletin de la Société de Mulhouse*).

La question d'un graissage convenable, c'est-à-dire de l'emploi d'appareils bien disposés, mais surtout de substances lubrifiantes de bonne qualité, est d'une extrême importance dans ce cas, et des variations de 25 p. 100 dans le travail moteur consommé ne sont pas rares, en raison de la qualité des huiles.

Recherches de M. G. Dollfus. — M. G. Dollfus a fait ses recherches sur les qualités lubrifiantes des huiles, à l'aide d'un appareil employé en Angleterre et connu sous le nom d'*éprouvette* de Mac Naught, qui permet de mesurer des quantités proportionnelles aux frottements et par suite de comparer les huiles entre elles.

Il se compose essentiellement (fig. 3541 et 3542) d'une broche maintenue par un collet et une crapaudine. Cette broche *a* porte, en *b*, un plateau en cuivre, tournant avec elle. Ce plateau a les bords relevés et forme ainsi une capacité qu'on remplit de l'huile à essayer. Sur ce plateau on disque vient s'en appliquer un second c parfaitement rôdé sur le premier; son centre porte un canon *d*, au bout duquel se place une petite vis *e*, venant reposer sur l'extrémité de la broche et servant de pivot au disque. Cette vis sert à régler l'écartement des deux plateaux, lequel doit être ménagé de manière à ce que leur distance soit la plus petite possible, sans qu'ils se touchent. Ce sont alors des surfaces parfaitement graissées qui se trouvent en contact. Le disque c porte une goupille *f* placée excentriquement, et qui vient heurter contre une autre goupille *g* fixée dans l'une des branches du levier coudé *h*. Ce levier peut osciller autour du tourillon *i* et porte en *k* un poids mobile le long d'une tige graduée. Un second poids *l* fixe équilibre le système du levier, le poids *k* étant sur la division *o*. Le support ou bâti *mm* sert à fixer l'appareil contre une table ou un établi au moyen de la vis *n*. La vis inférieure sert de crapaudine à l'arbre *a*.

L'appareil est construit de telle sorte que le levier, appuyant sur la goupille en vertu du poids *h*, forme une force résistante appliquée en un point tel, que le moment de cette force égale le moment du frottement produit par le mouvement du disque *k*, c'est-à-dire que la goupille ou point d'application de la force résistante se trouve aux deux tiers du rayon du disque.

Si *a* et *b* sont les deux longueurs de branches du levier coudé, P le poids mobile, n le nombre de tours de l'appareil, le travail sera donc exprimé par :

$$Tf = P\frac{a}{b} \times \frac{4}{3}\pi n.$$

En supposant le nombre de tours constant, ainsi que les autres quantités, et n seul variable, on aura $\frac{Tf}{Tf'} = \frac{a}{a'}$, c'est-à-dire que le travail du frottement pour différentes huiles, sera proportionnel aux longueurs de la branche graduée, ou au nombre de divisions indiquées par le curseur.

3541.

3542.

Nous donnons, dans le tableau suivant, les résultats d'essais de diverses huiles obtenues par l'éprouvette de Mac-Naught, à la même température et après dix minutes de marche.

Huiles.	Nombre proportionnel au frottement.	Valeur comparative du frottement.
Spermaceti (1re qualité) . . .	48 à 49	1,00
Spermaceti impur.	30	1.66
Huile de pieds de bœuf. . . .	34	1,89
— pavots	34	1,89
— olive lampante . . .	38	2,11
— colza pelé de Strasbourg.	39 à 40	2,22
— lentisque	42	2,34
— graisse (lard oil) . .	45	2,50
— coco	46 à 47	2,61
— colza épurée.	55	3,05

Par une marche prolongée, les huiles s'épaississent, s'acidifient à l'air, et les frottements augmentent. C'est un élément important dont il faut tenir compte dans la pratique. M. Dollfus a trouvé les variations suivantes :

En 8 jours. — Spermaceti.	29	p. 100
En 5 jours. — Huile d'olive lampante.	22 1/2	—
En 4 jours. — Huile de lentisque.	38	—
En 3 jours. — Huile de graisse. .	23	—
En 7 jours. — Huile de coco. . .	40,07	—
En 4 jours. — Huile de colza épurée.	25,50	—

En comparant le frottement et la densité d'une huile, on trouve :

	Densité.	Frottement.	Rapport.
Spermaceti.	8840	49	46,60
Huile animale	9380	45	20,80
— de colza	9147	40	22,80
— d'olive.	9470	38	24,00

Le rapport entre les densités et le frottement n'étant pas constant, on ne peut donc se servir d'un aréomètre pour déterminer la propriété lubrifiante d'une huile.

Tous les essais d'huile doivent être faits sensiblement à la température où elles doivent être employées, car on sait qu'une diminution apparente du frottement se produit par l'élévation des températures. Nous reviendrons plus loin sur cette question spécialement étudiée par M. Hirn, mais nous pouvons toujours de ce fait incontestable tirer cette conséquence que pour les coussinets qui chauffent, il ne faut pas employer de l'huile trop fluide. La chaleur rend ces huiles d'une fluidité telle, qu'elles ne lubrifient plus, qu'elles sont chassées. Il convient, dans ce cas, d'employer une huile de graisse, ou un mélange d'huile et de saindoux.

Expériences de M. Hirn. — Nous avons déjà vu (ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR) l'appareil dit *balance de frottement* que M. Hirn a combiné pour ces expériences, en rapportant les résultats qu'il a obtenus relativement au dégagement de la chaleur produite par le frottement.

Il est aisé de voir que le tambour de cet appareil avec son coussinet constitue un véritable frein de Prony, avec cette seule différence que la pression variable des mâchoires du frein y est remplacée par la pression constante du coussinet sur le tambour due au poids du coussinet et de ses agrès (ce poids était de 50 kilog.). Si donc nous nommons L la longueur EL du levier, N le nombre total de tours du tambour, P le poids mis sur le plateau, on aura $2\pi NPL = T$ pour la valeur du travail total dû au frottement.

M. Hirn, après avoir établi l'impossibilité d'apprécier avec un seul appareil d'épreuve, de petite dimension, tel que l'éprouvette de Mac-Naught ou la balance de frottement, toutes les qualités mécaniques d'une huile, donne les préceptes suivants :

I. On trempera l'index d'une main dans l'huile qu'on veut éprouver, et l'index de l'autre main dans l'huile qu'on prend pour type de comparaison : des deux côtés et de la même manière, on frictionnera l'index contre le pouce. Si l'huile essayée est plus mauvaise que l'huile type, on éprouvera d'abord autour de l'index qu'elle mouille un plus fort sentiment de chaleur, et au frottement elle sera plus *onctueuse*. Si elle est meilleure, le sentiment de chaleur sera moindre qu'avec l'huile type, et au frottement l'huile paraîtra plus *rude*.

Une huile est d'autant plus mauvaise qu'elle paraît, à cette épreuve, *plus grasse, plus onctueuse*. Une très-bonne huile est nécessairement *très-rude* au frottement. Une huile rude, au contraire, n'est pas nécessairement bonne; c'est-à-dire que ce seul caractère est loin de suffire pour nous permettre d'affirmer sa supériorité. Le caractère opposé est, au contraire, suffisant pour nous permettre d'affirmer l'infériorité de l'huile. Au moyen de quelques exercices comparatifs, on arrive ainsi promptement à un tact qui ne trompe plus en ce sens; cette épreuve est donc un premier jalon fort utile.

II. En versant successivement un même poids de différentes huiles dans un vase convenable, percé d'un petit trou à sa partie inférieure, et comparant, à l'aide d'une montre à secondes, le temps qu'il faut à chacune pour s'écouler, on aura le rapport de leur fluidité relative. Cela posé :

La meilleure huile sera toujours la plus fluide, et la plus mauvaise sera la moins fluide; mais ici encore, il n'y a que la seconde affirmation qui soit décisive. De ce qu'une huile est très-fluide, il ne s'ensuit pas nécessairement qu'elle soit très-bonne; cependant ce caractère devient décisif, lorsqu'on opère sur des huiles d'une même et bonne espèce : ainsi, de deux huiles d'olive ou de deux huiles de spermaceti, la plus fluide sera à coup sûr la meilleure au métier dynamomètre. (Je n'ai pas besoin d'insister sur ce point : l'expérience au *fluidosomètre* doit être faite à des températures rigoureusement constantes.)

III. Après ces deux épreuves préalables, qui nous permettent déjà de rejeter une huile inférieure à l'huile type, on opérera sur la balance de frottement, sur l'éprouvette de Mac-Naught (ou sur tout autre appareil équivalent).

On graissera une fois pour toutes l'appareil au commencement de l'expérience; on aura soin que, pour toutes les huiles, il marche à la même vitesse et reçoive au début la même dose de lubrifiant; on aura soin aussi que l'appartement ait toujours, du moins à 2 ou 3 degrés près, la même température, si l'on veut s'éviter la peine de mesurer la température même de l'appareil. Au bout d'un certain temps plus ou moins long (selon l'espèce d'huile selon la vitesse, selon la pression, etc.), l'instrument atteint sa température maxima, et la charge étant devenue constante, on prend note. Si toutes les précautions indiquées ont été observées, les charges minima qu'on obtient ainsi pour différentes huiles donnent déjà une idée juste de leurs qualités mécaniques relatives; mais, comme je l'ai dit, cette comparaison ne répond pas encore assez exactement aux exigences de la pratique. En laissant l'appareil continuer de marcher dans les mêmes conditions, on acquiert ensuite une connaissance précieuse sur la persistance du pouvoir lubrifiant de l'huile essayée; il est bien clair, en effet, que la charge minima se maintiendra d'autant plus longtemps que l'huile sera d'une nature moins siccative, moins résineuse, etc., etc.

Une remarque importante est nécessaire ici cependant, et, faute de s'y arrêter, on courrait risque de porter souvent un jugement défavorable fort injuste contre une huile (c'est ce qui m'est arrivé fréquemment au début). Dans nos usines, la plupart des pièces sont

graissées par intermittences assez rapprochées (soit à la main, soit mécaniquement); pourvu donc que le pouvoir lubrifiant se soutienne d'un intervalle à l'autre, notre but est atteint : d'obtenir un frottement minimum pendant tout cet intervalle. Il suffit donc que l'huile soit d'assez bonne qualité (au point de vue chimique), pour que chaque nouveau graissage enlève le peu de cambouis produit, et que celui-ci ne s'accumule pas. En un mot, une huile peut être bien moins persistante qu'une autre sur la balance de frottement, et mériter cependant la préférence : c'est ici à la méthode directe à décider. Pour donner cependant ici une indication pratique, je dirai que, lorsque la charge minima ne persistait pas au moins deux ou trois heures sur la balance de frottement, je pouvais, de confiance, rejeter l'huile comme impropre au service. Il suffira à chaque observateur d'étudier son instrument pour arriver aussi à une mesure semblable assez fidèle.

IV. A côté de l'épreuve à la balance peut se ranger un procédé fort pratique, que j'ai vu employer chez MM. Gros, Odier et Roman, à Wesserling. Quoique je ne l'aie pas essayé moi-même, je me permets de le citer, parce qu'il me semble à la fois commode et passablement concluant. Ayant graissé les tourillons d'un tambour de carde avec l'huile qu'on veut éprouver, on laisse marcher pendant une, deux, trois.... heures; puis, à un moment donné, on abat la courroie de commande, et l'on compte le nombre de tours que fait le tambour pour arriver au repos [1]. Comme c'est uniquement la résistance de l'air et le frottement des tourillons qui annihilent peu à peu l'impulsion primitive, et que c'est le frottement qui est ici la *force accélératrice négative* dominante, on conçoit aisément que le nombre de tours du tambour donne une idée très-approximative du pouvoir lubrifiant de l'huile.

Il est évident que beaucoup de pièces de nos machines pourraient être employées de la même manière que ce tambour de carde. Les résultats seront d'autant plus exacts que le moment d'inertie de ces pièces sera plus grand, et que cette espèce de volant improvisé offrira moins de prise à l'air.

V. Pour les pièces lourdes qui tournent très-lentement (tels sont les tourillons des roues hydrauliques, etc.), une huile très-fluide est certainement à déconseiller.

Pour les pièces qui marchent avec une vitesse moyenne ou grande, avec des pressions moyennes ou faibles, c'est à l'huile de la meilleure qualité mécanique qu'on devra s'arrêter.

Le même conseil peut encore être donné quant aux transmissions de fortes dimensions, du moins lorsqu'on y use de la méthode ordinaire de graissage, qui est à la fois logique et sensée. On sait que l'habitude générale est de placer un morceau de suif (ou autre graisse concrète) dans le chapeau des coussinets, et puis d'alimenter, en outre, ceux-ci d'huile, par intermittences rapprochées, ou d'une manière continue. L'huile ici ne peut pécher par un excès de bonne qualité (et par suite de fluidité), car, tant qu'elle lubrifie convenablement, les pièces changent peu de température et il se consomme peu de suif; qu'au contraire, par une raison ou une autre, l'huile soit momentanément expulsée d'entre les surfaces en regard, à l'instant les pièces vont s'échauffer davantage et il y affluera plus de suif en raison de sa plus grande viscosité, il séparera davantage les surfaces, et le frottement diminuera. Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaîtra aisément que l'espèce d'équilibre qui s'établit ainsi, par suite du mélange spontané de deux graisses, l'une très-fluide, l'autre concrète, est précisément tel qu'on obtient un minimum de frottement. Nous profitons par suite encore ici des bonnes qualités de l'huile employée.

M. Hirn a cherché à formuler les résultats de ses expériences sur les frottements entre surfaces abondamment lubrifiées et pour de grandes vitesses. Ils sont très-différents des lois classiques du frottement, déterminées, il est vrai, dans des conditions différentes, et doivent par suite éveiller l'attention sur cette importante question.

1° Au point de vue de la température, il a trouvé que, pour toutes les huiles, si A est le poids qui fait équilibre au frottement à la température zéro, on aura le poids p faisant équilibre au frottement à la température t par l'équation

$$p = \frac{A}{1,0492^t}$$

et B étant le poids qui correspond à $i°$

$$p = \frac{B}{1,0492^{(t-i)}}$$

2° Au point de vue des vitesses, le frottement est proportionnel à la vitesse quand les surfaces sont abondamment lubrifiées; mais lorsqu'il n'en est pas ainsi, les charges faisant équilibre au frottement sont proportionnelles aux vitesses élevées à une certaine puissance inférieure à l'unité et s'approchant d'autant plus de la racine carrée des vitesses, que la quantité d'huile interposée entre les surfaces de contact a plus diminué.

3° Enfin, par rapport à l'étendue des surfaces, M. Hirn dit avoir été conduit à cette conclusion avec une exactitude suffisante pour la pratique, que la valeur du frottement médiat (avec interposition de corps lubrifiant entre les surfaces de contact) est sensiblement proportionnelle à la racine carrée des surfaces et à celle des pressions, selon que l'on fait varier à la fois l'un ou l'autre de ces éléments, ou tous les deux à la fois.

Des systèmes de graisseurs.

Les systèmes de graisseurs peuvent se diviser en deux espèces :

Les premiers sont des applications du siphon ou des robinets; ils graissent d'une manière continue, que l'arbre marche ou soit en repos. Le graissage qui s'effectue dans ce dernier cas est en pure perte. Les mèches (que nous avons décrites à graissage) sont des graisseurs de la première espèce. Elles ont comme les autres l'inconvénient de graisser pendant les heures de chômage aussi bien que pendant la marche; de plus c'est un graissage d'une surveillance difficile et très-irrégulier.

Les robinets fixes dont on peut modifier l'ouverture se prêtent à l'emploi de différentes qualités d'huile; ces graisseurs ont les défauts des mèches, c'est-à-dire de graisser d'une manière continue. On pourrait les fermer pendant les heures de repos; mais cette manœuvre devient impossible lorsqu'ils sont employés en grand nombre.

La deuxième espèce de graisseurs est celle où le graissage dépend du mouvement de l'arbre. Cette espèce, préférable à la première, comprend les robinets à capacité variable et à pente mobile, et les graisseurs à chapelet diversement modifiés.

Les robinets à capacité variable dont il s'agit ici, qui prennent de l'huile en raison du vide que l'on fait varier en général à l'aide d'une vis, sont mus par les arbres de la transmission et cessent par suite de fonctionner quand l'usine est en repos. Ces systèmes sont bons, mais un peu compliqués.

Les chapelets sont d'une surveillance difficile; l'expérience les a fait abandonner par nombre d'établissements. Un mode de graissage analogue, mais bien préférable, est celui de M. Decoster, qui lubrifie les arbres

[1] Il est bien évident que pour cette opération le tambour doit être dépouillé de coton.

de transmission au moyen de disques qui tournent dans l'huile, par l'emploi d'un bourrelet saillant ménagé autour de l'arbre à graisser, dans le milieu du coussinet. La partie inférieure de ce bourrelet, plongeant toujours dans l'huile, entraîne avec lui une portion suffisante de ce liquide pour lubrifier d'une manière continue les surfaces. On voit que l'huile n'est déplacée que pendant le mouvement de l'arbre, c'est-à-dire seulement quand ce déplacement est nécessaire. Les paliers graisseurs de M. Decoster permettent seuls de marcher à grande vitesse avec des surfaces de frottement peu considérables; aussi ce constructeur les a-t-il appliqués au système d'arbres légers à grande vitesse, dont il est le principal promoteur.

L'ingénieux M. Froment, en construisant pour M. Girard ses turbines à rotation extrêmement rapide, a reconnu que pour des axes verticaux faisant 12 à 15,000 tours par minute, la circulation régulière de l'huile pouvait seule empêcher l'adhérence de l'axe et du palier, le grippement qui entraîne bientôt la rupture de l'axe. L'huile chassée par la force centrifuge, au contact de l'axe, cesse bientôt de lubrifier à de semblables vitesses. Il y est arrivé d'une manière parfaite, en employant la force centrifuge elle-même pour renouveler l'huile sur les surfaces. L'arbre étant percé en son centre d'un petit canal cylindrique, avec lequel communiquent, au-dessous du niveau de l'huile un petit canal horizontal et une petite entaille dans le palier, l'huile prendra un mouvement dans ce canal, et la lubrification sera parfaite pour peu que les forces centrifuges aux deux extrémités des entailles soient différentes, ce qui nécessite, aux vitesses dont il s'agit, la moindre différence entre les deux rayons de l'arbre qui correspondent aux deux canaux horizontaux. C'est une solution excellente d'un problème qui offrait de très-grandes difficultés dans la pratique.

GRAVURE EN RELIEF PAR LES ACIDES. Nous compléterons ce que nous avons dit sur la question de la gravure en relief par les acides, en empruntant à un rapport de M. Du Moncel la description du procédé Gillot, fondé sur les résultats de la zincographie, procédé seul exploité commercialement aujourd'hui à Paris pour la gravure en relief à meilleur marché que la gravure sur bois, mais sans fournir rien qui ait une valeur artistique bien réelle.

Après avoir énuméré les essais de Carez, Dembour, etc., dont nous avons parlé à l'article GRAVURE, M. Du Moncel, esquissant une revue générale des systèmes qui ont été essayés, continue ainsi :

Plus tard, une foule d'autres systèmes ont été brevetés sous des noms de chrysoglyphie, de chalcotypie, de zincographie, stylographie, etc., etc. Tous ces systèmes étaient des modifications plus ou moins heureuses des procédés dont nous venons de parler, et pouvaient présenter chacun leurs avantages, surtout celui où la dorure fut introduite dans les tailles pour produire les reliefs, comme on a pu en juger à l'Exposition universelle. Si l'on joint à ces différents systèmes plusieurs autres employés par Duplat dès l'année 1810, Girardet en 1828, Tessier de Lyon, et tant d'autres dans lesquels la pierre lithographique (voir LITHOGRAPHIE) était substituée aux métaux dans les systèmes précédents, on aura une idée des efforts tentés pour résoudre le problème des gravures en relief par des actions chimiques.

A côté de ces différents procédés se sont élevés plusieurs autres d'un genre tout à fait nouveau et fondés sur certaines réactions physiques et chimiques nouvelles et qui ont produit, à ce qu'il paraît, quelques heureux résultats. Tels sont les procédés de gravure galvanique et de gravure photographique.

Les procédés de gravure galvanique peuvent être classés en deux catégories : 1° ceux dans lesquels le courant agit pour enlever le métal; 2° ceux dans lesquels un dépôt métallique résulte de l'action de ce courant. A la première catégorie appartiennent les procédés de MM. Dument, Devincenzi, Pring, etc. Dans la seconde catégorie doivent être rangés ceux de MM. Spencer, Salmon, Ch. Beslay, Fergusson, etc. Tous ces procédés ne diffèrent entre eux que par la nature des matériaux qui composent les planches, la manière d'obtenir sur elles le dessin à graver, la composition des vernis propres à consolider l'empreinte de ce dessin et à l'empêcher d'être attaquée, enfin les préparations à donner à ces planches. Nous remarquerons, toutefois, que, dans tous ces procédés comme dans tous ceux dont nous avons parlé précédemment, l'action du mordant s'effectue uniformément, sans distinction des parties légères ou accentuées du dessin; et c'est principalement la manière dont on opère ce mordançage qui établit une différence bien tranchée entre ces procédés et celui de M. Gillot.

Quant aux procédés photographiques, on peut les diviser en quatre classes :

1° Ceux dans lesquels l'action de la lumière produite sur certaines substances a pour effet secondaire de donner lieu, par suite d'une préparation subséquente, à des inégalités d'épaisseur qui, une fois moulées, constituent une matrice avec laquelle la gravure peut être clichée;

2° Ceux dans lesquels l'action de la lumière n'a d'autre effet que de dépouiller plus ou moins de sa préparation une planche métallique, que l'on fait mordre ensuite comme une planche gravée à l'eau-forte;

3° Ceux dans lesquels l'action électrique vient aider l'action de la lumière;

4° Ceux dans lesquels l'empreinte daguerrienne se trouve transportée directement sur une pierre lithographique.

A la première classe appartiennent les procédés de MM. Poitevin, E. Rousseau, Masson, Benvières, etc.; à la seconde, ceux de MM. Deuné, Berres, Niepce de Saint-Victor; à la troisième, ceux de MM. Grove, Chevalier, Fizeau, Heller (voir GRAVURE); à la quatrième, ceux de MM. Rondini, Lerebours, Lemercier, Barreswil, Bry, etc. (voir LITHOGRAPHIE).

De ces différents procédés, ceux de la première classe sont seuls réellement applicables à la gravure en relief, et il me suffira d'indiquer en quelques mots le procédé Poitevin, pour les faire comprendre à peu près tous.

Ce procédé consiste à couler une couche uniforme de gélatine sur la planche à graver, à tremper celle-ci dans une dissolution de bichromate de potasse et à l'exposer à la lumière, soit à l'intérieur d'une chambre obscure, quand on veut opérer directement, soit derrière le négatif transparent qu'il s'agit de reproduire. Après cette exposition, la plaque est plongée dans l'eau, et toutes les parties qui n'ont pas subi l'action de la lumière s'imprègnent de ce liquide, se gonflent et produisent des reliefs sensibles à la surface de la plaque, tandis que les parties frappées par la lumière s'humectent à peine et constituent relativement des creux. Les reliefs, par cela même, correspondent aux noirs du dessin et les creux aux blancs, de sorte qu'il suffit de mouler cette planche comme on le fait pour les clichés ordinaires, pour obtenir la gravure du dessin ou de la vue que l'on veut reproduire.

Ce résumé très-succinct des différents procédés de gravure en relief était utile pour faire connaître les différents efforts qui ont été tentés pour résoudre le problème, afin qu'on pût juger, en connaissance de cause, le système qui aujourd'hui est le plus recherché des moyens économiques pour obtenir des gravures en relief.

Le principe du procédé de M. Gillot est d'une simplicité extrême; mais l'exécution en est assez délicate

et exigeait bien des recherches avant de pouvoir parvenir aux résultats dont nous venons de parler. Quelques mots suffiront pour faire comprendre ce principe :

Qu'on suppose encré, avec une encre suffisamment grasse, le dessin lithographié ou gravé sur pierre qu'il s'agit de reproduire. Rien ne sera plus facile que d'en prendre une épreuve sur du papier à report; et cette épreuve ainsi préparée, étant appliquée, avant d'être bien séchée, sur une planche de zinc bien poncée, bien polie, pourra fournir, sur ce métal, une contre-épreuve aussi pure que le dessin sur pierre. Pour obtenir ce dessin en relief, il s'agira donc de faire mordre toutes les parties du zinc qui n'auront pas été recouvertes par l'encre de la contre-épreuve. Or c'est précisément dans cette opération que gît toute la difficulté; car l'encre d'imprimerie, par elle-même n'offre que bien peu de résistance à l'action des acides, et surtout d'acides assez énergiques pour fournir les reliefs nécessaires pour l'impression typographique. On pourrait croire qu'en ménageant les morsures et en les faisant successivement on pourrait, jusqu'à un certain point, résoudre cette difficulté; mais le problème est infiniment plus complexe, car le degré de ces morsures devant être différent, suivant les teintes du dessin, il faut nécessairement mettre à l'abri les parties suffisamment préparées après chaque opération. Voici comment s'y prend M. Gillot pour obtenir ce résultat :

D'abord, pour donner plus de résistance à l'encre du report, il saupoudre sa planche de fleur de résine qu'il étend délicatement sur le dessin avec un blaireau; après quoi, il place la planche dans la cuve de gutta-percha où doit se faire le mordançage.

Cette cuve doit avoir une disposition particulière, en raison du mouvement continuel qu'on est obligé de donner au liquide acidulé pour empêcher la stagnation des sels formés par l'acide et le zinc, et pour qu'il puisse réagir d'une manière nette et uniforme sur la planche. Cette cuve est disposée en bascule et pivote sur deux coussinets fixés sur le bâti qui la supporte, comme celles employées pour la gravure des rouleaux destinés à l'impression des tissus.

Le liquide acidulé qu'emploie M. Gillot n'est autre chose que de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique. Ce liquide doit être essayé à chaque opération, au moyen d'une pierre lithographique sur laquelle on jette quelques gouttes. Par le dégagement, plus ou moins rapide, des bulles de gaz acide carbonique qui se trouvent alors formées, il est facile de juger du degré de force du liquide.

On commence d'abord par une morsure très-légère, et cette morsure est destinée à attaquer seulement les petites parties blanches qui existent dans les teintes les plus foncées. Pour la faire, on fait basculer successivement la cuve pendant un temps plus ou moins long, et on achève l'extraction des sels formés par l'action de l'acide nitrique au moyen d'un blaireau. Ordinairement cette première morsure exige un quart d'heure environ. Quand on a jugé la morsure de ces parties claires des teintes foncées suffisante, on retire la planche de la cuve, on l'essuie, puis on la sèche et on la place au-dessus d'un gril échauffé en dessous au moyen de poussier de charbon enflammé, qu'on a soin de répartir également sous de la cendre chaude. Sous l'influence de cet échauffement, la légère couche de résine répandue sur le dessin se fond doucement, ainsi que l'encre, et se déverse dans toutes les petites cavités formées par cette première morsure. Toutefois, comme cette couche n'est un peu épaisse que sur les noirs vifs et les teintes très-foncées, ce premier échauffement ne bouche que les petits points clairs qui se trouvent au milieu de ces teintes. Aussitôt que cet effet est produit, la planche est retirée de dessus le gril et refroidie à l'air libre; après quoi, on l'encre parfaitement avec le rouleau lithographique, comme si on devait en tirer une épreuve. On recommence ensuite à la saupoudrer de fleur de résine pour la mettre en état de subir une nouvelle préparation.

Cette nouvelle préparation doit attaquer les teintes un peu moins foncées du dessin, et en conséquence elle doit être un peu plus énergique. L'opération, d'ailleurs, se conduit exactement comme la première fois; seulement le degré d'échauffement de la plaque, quand elle est placée sur le gril, doit être un peu plus élevé; et, comme le dessin lui-même est plus chargé d'encre et de résine, la fusion de la couche s'étend davantage, ce qui bouche des cavités ménagées dans la première opération.

Après avoir de nouveau encré le dessin et l'avoir saupoudré, pour la troisième fois, de fleur de résine, on commence la troisième morsure, qui provoque un nouvel échauffement de la plaque, puis une nouvelle fusion de la couche protectrice, et on commence de la même manière quatre, cinq, six, sept morsures, jusqu'à ce que le dessin ne présente plus qu'une masse noire uniforme, sans distinction de demi-teintes. Alors on prépare la planche avec de l'eau acidulée très-fortement (une partie d'acide sur douze d'eau) qui creuse définitivement les parties complétement blanches. Cette dernière préparation se fait toute seule et dure trois quarts d'heure.

Quand les blancs occupent sur le dessin une surface un peu large, on les recouvre de gomme laque liquide avant la première opération, afin de maintenir davantage la force de l'acide et de donner du soutien au rouleau typographique, lorsqu'on encre la planche après chaque morsure. On découpe ensuite ces parties à la scie, avant d'appliquer sur bois la plaque de zinc qui est devenue un cliché.

Maintenant on comprendra quel soin il faut apporter à l'action du mordant pour que toutes les lignes délicates, les teintes faibles et les parties fines d'un dessin soient suffisamment ménagées, et c'est en cela surtout que M. Gillot a fait preuve d'une habileté rare.

C'est surtout à la reproduction des cartes géographiques en relief, dont la gravure sur bois est longue, difficile et coûteuse, que ce procédé a été appliqué avec succès; il a fourni, dans quelques cas, des résultats assez remarquables.

GRAVURE AU GAZ. Nous avons expliqué à l'article GRAVURE ET IMPRESSION SUR ÉTOFFES les divers procédés employés pour la confection des planches en relief employées pour l'impression. Nous avons fait apprécier les grands avantages de l'introduction des clichés pour multiplier les sujets qui se répètent dans un dessin et pour obtenir une production rapide et économique, en remplaçant les petites planches par des planches de grande étendue pouvant se monter sur des perrotines ou machines analogues. Nous décrirons ici des perfectionnements apportés aux procédés de fabrication des matrices en bois debout, qui permettent d'obtenir de très-élégants produits, avec une dépense relativement minime.

On a d'abord imaginé d'exécuter les matrices en bois debout, par le refoulement des fibres à l'aide d'une série d'outils enfoncés à la main, chacun d'eux représentant un détail de dessin à reproduire. Si ce mode permet de produire un plus grand nombre de planches, avec une somme moindre d'adresse personnelle, puisque l'habileté du graveur est concentrée sur la production des outils partiels ou matrices, il laisse encore le succès du travail à la merci de l'habileté manuelle des ouvriers chargés de manœuvrer ces outils compresseurs, et la durée d'exécution reste encore considérable. On comprend que les matrices ainsi obtenues servent de moules pour la production d'un cliché en métal.

L'art de la gravure des planches d'impression des tissus était arrivé à ce point lorsque, vers 1849, M. Schultz, dessinateur de Paris, importa en France

l'idée d'origine anglaise de la machine dont nous allons donner une description. L'appareil fut construit à Paris et fonctionna à Puteaux chez MM. Bernoville, Larsonnier et Chesnet. On doit croire que les essais furent peu heureux, ou tout au moins que la machine construite sur les indications de M. Schultz était bien imparfaite, car le procédé de gravure qu'elle réalise ne fut pas apprécié à Mulhouse dans les quelques ateliers où on tenta de l'introduire.

MM. Heilmann frères ont repris les essais qui jusqu'alors avaient été infructueux, et c'est à leur constante persévérance, à leur étude approfondie du procédé qu'on doit la réalisation d'un système dont les résultats sont extrêmement remarquables. Voici en quoi il consiste :

Une *mortaiseuse à pédale* donne le mouvement à un outil tranchant de forme quelconque, mais répondant à un détail du dessin voulu. Les dimensions de cette mortaiseuse sont plus réduites encore que celles de la plus petite des machines analogues usitées dans les ateliers de construction; cependant les dispositions essentielles sont les mêmes. Un tube à deux branches lance constamment deux jets de gaz convergents dans la direction de l'outil qui, sous l'action de la flamme, s'échauffe rapidement pendant sa marche. Le bois dessiné qu'il s'agit de graver en creux est conduit à la main et reçoit l'action de l'outil. Échauffé à une température déterminée, celui-ci pénètre le bois à une profondeur constante en le brûlant, et produit ainsi un creux dont les contours ont une netteté et une régularité remarquables. On arrive, de la sorte, à produire, en deux ou trois jours au plus, une planche ou une matrice qui exigeait souvent un mois dans le système du bois avec cuivre implantés en relief, et une semaine au moins avec la méthode de gravure en creux par compression du bois.

Le bois soumis au travail de la mortaiseuse doit être préparé d'une façon spéciale, dans le but d'empêcher les fendillements sous l'action de l'outil brûleur et de la flamme du gaz. On prend ordinairement du tilleul de choix, et la préparation consiste dans une mise au four conduite avec les plus grands soins.

Les matrices obtenues à la mortaiseuse servent à la production de clichés qu'on obtient en coulant dans cette matrice en bois un métal dont voici la composition :

Plomb.	1/3
Bismuth.	1/3
Zinc.	1/3
Antimoine.	1/20 du tout.

Cet alliage, qui doit au zinc et à l'antimoine une dureté très-convenable, donne des empreintes d'une grande finesse.

Le bois brûlé en creux est recouvert et comprimé par un bois dressé muni d'une série de rainures, lesquelles sont destinées à distribuer le métal liquide et communiquent avec un orifice ou jet principal qui reçoit l'alliage en fusion.

Les clichés ainsi obtenus, après avoir été assemblés et fixés sur un bois pour former la planche d'impression, doivent être soumis à un dernier travail qui est le rabotage. Pour cela, on verse sur la planche de la colophane en fusion qui remplit toutes les parties creuses du cliché d'assemblage. Ainsi garnie, la planche est soumise à l'action d'une machine à raboter.

La colophane ayant été dissoute ensuite par l'essence de térébenthine, la planche est prête à fonctionner; elle exige à peine une révision et un travail de grattoir vertical à la main pour faire disparaître quelques imperfections de détail.

H

HÉLICE. Les grands avantages qu'a présentés l'emploi de l'hélice dans la navigation à vapeur, de cet opérateur entièrement plongé dans le fluide, ont fait de l'étude des formes les plus convenables à donner à l'hélice une des plus intéressantes questions qu'on puisse se proposer. Ajoutons que c'est une des plus difficiles par suite du petit nombre de données dont on dispose, par l'ignorance où nous sommes de la manière dont l'eau se comporte sur les palettes de l'hélice; comment se produit l'entraînement croissant avec la vitesse, comment l'eau arrive par le centre du propulseur et s'écoule, eau déjà animée de vitesses variables en raison de son cheminement le long des façons arrière du navire.

Les résultats d'expériences tentées en modifiant les formes et dimensions de l'hélice sous l'influence des notions fondamentales admises généralement sur la résistance des fluides, en cherchant, par exemple, à faciliter l'entrée et à diriger la sortie de l'eau, ont toutefois fourni des éléments importants qui, s'ils ne permettent pas de fixer, pour chaque cas, la forme, les dimensions et les vitesses les plus convenables, permettent cependant d'en approcher et d'arriver dans la pratique à des résultats satisfaisants.

L'hélice, dans sa donnée première, est une vis à un ou plusieurs filets, qui, mue dans l'eau avec rapidité, trouve dans l'inertie de celle-ci une résistance analogue à celle qu'elle trouverait dans un écrou métallique; d'où résulte la progression, le mouvement en avant du navire qui la porte. La condition essentielle de l'emploi de l'hélice est donc une vitesse assez grande pour que l'eau résiste, malgré l'extrême mobilité de ses molécules; et comme d'ailleurs elle communique nécessairement une vitesse aux molécules liquides qui choquées ne peuvent rester immobiles, il est bien clair que toute la vitesse imprimée dans le plan perpendiculaire à l'axe de l'hélice correspond à un travail consommé inutilement pour la propulsion, tandis que toute celle parallèle au mouvement du navire est utilisée, en ce sens qu'elle est la réaction qui correspond à l'impulsion communiquée au corps flottant

Comme c'est évidemment par suite de l'inclinaison de son plan incliné autour de l'axe que l'hélice opère, que la régularité de cette inclinaison, tout à fait logique quand il s'agit d'une vis dont les filets doivent se succéder dans le même chemin, n'a plus de raison d'être lorsque l'action doit se produire à diverses distances de l'axe sur de l'eau animée de vitesses différentes, on en est venu à adopter des surfaces hélicoïdales diversement inclinées, et à remplacer l'hélice par des palettes hélicoïdales séparées, laissant par suite une entrée plus facile à l'eau qu'un filet continu.

Passons en revue les éléments de l'hélice et les résultats de l'emploi des principaux systèmes, savoir : le nombre des bras, le diamètre et la longueur, la surface agissante des palettes, le pas, le recul et la force motrice utilisée. Nous mettrons à profit, pour l'évaluation de l'influence de ces divers éléments, d'intéressantes expériences dont M. Tenrines, l'ingénieux in-

venteur d'un dynamomètre, vient de publier les résultats. Ce sont les seules, à notre connaissance, qui soient faites dans des conditions scientifiques, à savoir avec l'interposition de deux dynamomètres donnant l'un la mesure du travail réellement transmis à l'hélice, et l'autre la mesure de la poussée de l'hélice, c'est-à-dire de la résistance du bateau, qui, multipliée par le chemin parcouru, donne exactement le travail utile. Le rapport entre ces deux quantités de travail donnait exactement la valeur mécanique du propulseur.

Il est sans doute fort regrettable que ces expériences n'aient porté que sur des hélices de petite dimension, mais les résultats qu'elles fournissent sont encore très-précieux, et ne sont en contradiction avec aucun des résultats de la pratique.

1° *Nombre de bras.* — Depuis l'invention de l'hélice, deux principes sont en présence : celui d'après lequel l'hélice reste toujours à son poste, et celui d'après lequel, lorsque le bâtiment veut naviguer à la voile seulement, elle est remontée en-dessus de la surface de l'eau par un puits disposé à cet effet. Le premier système est applicable aux bâtiments où la vitesse est la première nécessité du service qu'ils ont à accomplir ; dans ce cas, lorsque cependant ils veulent se servir des voiles seules, l'hélice est affolée, et quand la vitesse donnée par le vent est suffisante, elle tourne par l'effet seul du sillage du bâtiment ; toutefois, lorsque ce sillage est au-dessous de trois à quatre nœuds, il n'est généralement plus assez puissant pour vaincre l'inertie de l'hélice, pour la mettre en mouvement, et elle oppose alors, dans son immobilité, une résistance qui réduit considérablement la vitesse.

Dans le second système, on est réduit à employer des hélices à deux branches seulement, afin de n'être pas forcé de donner au puits par où elles doivent remonter une dimension exagérée, nuisible à la solidité que réclame l'arrière du bâtiment, surtout lorsque, comme à bord des bâtiments de guerre, cette partie doit porter de l'artillerie. Cette hélice, généralement adoptée en Angleterre, produit beaucoup de secousses, son action étant interrompue périodiquement à chaque tour, lorsqu'elle vient se cacher derrière l'étambot.

Dans les expériences dont nous avons parlé, tandis que les hélices à deux branches donnaient, pour le rapport du travail utilisé au travail dépensé, 0,57, celles à quatre ailes donnaient 0,62.

Hélice Sollier. — Comme les hélices à quatre branches sont celles qui jusqu'à présent ont semblé donner les vitesses les plus avantageuses, M. Sollier a essayé de vaincre la difficulté, en imaginant une hélice qui réunit l'avantage d'être à quatre branches à celui de pouvoir être remontée par un puits de dimension ordinaire. Son système se compose de deux hélices à deux branches qui, au moyen d'un mécanisme qui se meut à l'intérieur du bâtiment, peuvent à volonté, ou se disposer en croix et faire l'effet d'une hélice à quatre branches, ou bien se placer l'une sur l'autre, et ne former qu'une hélice à deux branches, qui peut alors se remonter par le puits.

Ce système d'hélice a fonctionné d'une manière satisfaisante à bord du vaisseau de cent canons *l'Austerlitz* ; mais on ne peut se dissimuler que ce système, s'il est ingénieux, n'en est pas moins compliqué. Tous les mouvements qui se passent dans l'eau, là où il est difficile d'atteindre, doivent être simples, et nous craignons que l'hélice de M. Sollier n'ait pas tout à fait cet avantage.

Hélice Mangin. — Celle proposée par M. Mangin, ingénieur de la marine, consiste dans la réunion de deux hélices ordinaires à deux ailes. Ces deux hélices, coulées d'une seule pièce, sont placées à 50 centimètres environ l'une en avant de l'autre, de manière à n'avoir qu'une seule et même projection, sur le plan vertical latitudinal du bâtiment. Il résulte de cette dernière disposition que la largeur nécessaire du puits de remontage de cette hélice est moindre que celle nécessaire au puits ordinaire d'une hélice à deux ailes, puisqu'alors chaque aile n'a plus besoin d'avoir un si grand développement. Cette circonstance est fort importante sur les vaisseaux de ligne, dont les sabords de retraite doivent être tenus aussi dégagés que possible. Les résultats présentés par l'hélice nouvelle ont été assez favorables pour que la commission chargée de les constater ait reconnu que l'hélice Mangin donnait, à la traction au point fixe, des chiffres un peu supérieurs à ceux de l'hélice ordinaire ; qu'en marche, pour un même nombre de tours des machines, elle donnait des avances par tour, des reculs et des vitesses identiques, et que, pour obtenir ces résultats identiques, elle dépensait une quantité de travail un peu plus forte que l'hélice ordinaire.

Un fait remarquable et inattendu a été constaté, savoir : cette hélice a fait disparaître à peu près complétement les trépidations à l'arrière du bâtiment.

Dans le cours de la navigation du *Phlegéthon*, de 400 chevaux, les avantages de l'hélice Mangin n'ont pas tardé à se manifester. Les ailes de cette hélice ne dépassent que de $0^m,13$ les étambots, lorsqu'elle est placée verticalement au repos ; le bâtiment peut ainsi naviguer et manœuvrer à la voile sans perte de temps, sans avoir à rentrer son hélice, et être toujours prêt à remettre en marche à la vapeur.

Le puits se trouve alors réduit à des proportions restreintes, qui n'ôtent plus rien à la solidité des façons arrière du bâtiment.

En escadre, en croisière, dans toutes les circonstances qui demandent l'économie du combustible et la rapidité des mouvements, l'hélice Mangin permet ainsi de passer instantanément de la vapeur à la voile et de la voile à la vapeur, sans avoir absolument besoin de remonter ou d'affoler l'hélice, en conservant au bâtiment toutes ses qualités.

L'hélice Mangin semble ainsi d'une application appropriée aux bâtiments de guerre, en ce qu'elle permet de concilier le puits avec la solidité de construction, et la voile avec la vapeur, sans rien ôter aux qualités essentielles du bâtiment dans ces deux conditions.

2° *Diamètre de l'hélice.* — Cette dimension est déterminée par le tirant d'eau du navire, l'hélice devant être noyée sous une épaisseur d'eau de $0^m,50$ au moins. On admet assez généralement que l'on doit donner à l'hélice toute la grandeur possible, d'après le travail moteur des machines, afin de la faire agir sur une masse d'eau considérable, qui ne prenne pas facilement un mouvement giratoire qui annule l'action du propulseur. Dans les expériences de M. Tourines, le diamètre variant de 0,47 à 0,64, le coefficient d'utilisation a varié de 0,55 à 0,73.

3° *Aire de l'hélice.* — Dans les expériences nombreuses faites sur des hélices variées, et, par suite, on peut dire, pour tous les cas sensiblement, les expériences relatives à l'aire de l'hélice ont donné des résultats très-nets, qui indiquent bien la nécessité de laisser l'eau arriver facilement sur l'hélice et l'abandonner de même, avec un minimum de perte de travail. D'après J. Bourne, si on compare le disque entier de l'hélice, la surface du cercle décrit par l'extrémité de ses ailes, à la surface résistante du navire, le rapport doit être de 1 à 3, et la surface projetée des ailes ne doit occuper que $\frac{1}{6}$ de la surface totale du disque, quel que soit leur nombre, les intervalles entre les ailes correspondant aux $\frac{5}{6}$. Cette dernière conséquence a été mise en lumière par les expériences de M. Cavé, qui a vu les vitesses croître avec une même hélice, lorsqu'on diminuait la surface

des ailes jusqu'à ce qu'on eût atteint cette proportion, tandis que la vitesse diminuait lorsqu'elle était dépassée. Toutefois, cette limite paraît répondre à une vitesse de rotation très-grande ; dans le plus grand nombre de cas, la surface de l'hélice doit dépasser cette limite.

4° *Pas de l'hélice et recul.* — Le pas de l'hélice ou la distance de deux points situés sur une même génératrice du cylindre de deux spires consécutives (en supposant continu le filet de vis auquel appartient la palette de l'hélice) est la mesure de l'inclinaison de l'hélice sur l'axe, puisqu'on a $2\pi r$ tang. $\alpha = p$ (r rayon, α inclinaison, p le pas) dans tout plan incliné.

Le rapport correspondant à un angle de 45° est souvent employé en Angleterre par la majeure partie des constructeurs. En France et en Amérique le rapport employé correspond à une inclinaison de 30°, d'après M. Goudry. On ne peut guère déduire de là aucune règle générale, car il est impossible de rien conclure de la forme de l'hélice, si l'on ne tient pas compte en même temps de la vitesse avec laquelle elle est mue, et qui est, comme nous allons le voir, très-différente dans les divers cas. Il faut aussi remarquer que la variation d'inclinaison des parties diverses des palettes les fait appartenir à plusieurs spires hélicoïdales, dont la valeur moyenne est assez difficile à estimer.

Le pas de l'hélice devrait être la mesure de l'avancement du bateau pour chaque tour ; ainsi, si une hélice a 5 mètres de pas et si elle fait deux tours par seconde, le bateau devrait filer $5 \times 2 = 10$ mètres par seconde, si l'hélice fonctionnait comme dans un corps solide. Mais à cause de la mobilité des molécules liquides, la progression du bateau est moindre que celle déterminée théoriquement ; la différence est ce qu'on appelle le recul de la vis.

Calcul des effets de l'hélice. — Ce n'est que pour expliquer les effets de l'hélice dans l'eau qu'on suppose qu'elle agit comme une vis qui s'avance dans le bois. Si la vitesse était pour ainsi dire infinie et non pas seulement de 7 ou 8 mètres par seconde, la transmission du mouvement de l'hélice à l'eau n'aurait pas le temps de s'effectuer ; mais ce qui serait vrai d'une vitesse de 200 à 300 mètres par seconde, comme celle de la balle de fusil qui traverse une porte sans la faire remuer, n'est pas applicable à la vitesse si inférieure de l'hélice. On peut, par suite, établir les calculs de l'hélice, en admettant qu'elle agite l'eau et communique sa propre vitesse aux couches qui viennent en contact avec elle, de la même manière que cet effet se produit par une surface plane qui se meut en ligne droite, c'est-à-dire en tenant compte de l'inflexion des filets fluides qui s'écartent des bords.

Le recul, qui est le mode habituel d'estimer la perfection de l'hélice, se rapporte seulement à l'action exercée sur l'eau et indique pour un même rapport de travail moteur et de travail résistant que le déplacement de l'eau se fait d'autant plus facilement, occasionne d'autant moins de résistance que ce recul augmente. La grandeur de celui-ci ne prouve pas absolument que le travail moteur soit mal employé ; c'est le travail utile obtenu pour un même travail moteur, la grandeur de la vitesse imprimée à un même bateau par une même consommation, qui est le vrai moyen de comparaison, bien qu'il soit vrai, en général, que la meilleure utilisation correspond à un moindre recul.

La meilleure hélice est évidemment celle qui imprime à la moindre quantité de liquide un mouvement giratoire, complètement inutile pour la propulsion ; qui produit peu de tourbillonnements, de communication du mouvement circulaire résultant surtout d'un écoulement difficile de l'eau ; qui imprime à une masse d'eau mue en ligne droite, dans une direction opposée à celle du navire, un minimum de forces vives.

L'équation complète de l'hélice, c'est-à-dire la formule qui permettrait d'obtenir l'expression du travail utile que peut fournir une hélice (variable avec le navire qui la porte, dont la résistance variable pour chaque vitesse détermine le nombre de tours par minute), ne saurait être obtenue dans l'état actuel de la science, à cause de la loi inconnue, suivant laquelle les filets liquides s'infléchissent sur une surface qui agit sur elle. L'équation du travail absorbé par le fluide peut, au contraire, être obtenue facilement et fournit un guide précieux pour discuter les résultats de l'expérience. Cherchons comment il est possible de l'établir, remarquant que l'impulsion qui meut le navire est égale à la réaction qui donne à l'eau un mouvement de direction opposée. Le mouvement giratoire de l'eau est presque le seul produit lorsque la surface de l'hélice ou plutôt son action est très-petite relativement à la résistance du bateau.

Soit V la vitesse du bateau, M le maître-couple immergé, K le coefficient de résistance correspondant aux formes du navire ; la résistance qu'il oppose au mouvement est KMV^2 et le travail résistant par seconde KMV^3.

Soit v la vitesse de l'hélice supposée constante, telle que pour un point situé à une distance r de l'axe $v = r\omega$, ω étant une vitesse angulaire constante.

L'hélice étant formée par l'enroulement autour du cylindre d'une ligne droite faisant un angle α avec la perpendiculaire aux génératrices, par l'action de rotation du cylindre dans l'eau, pour un tour, toutes les molécules d'eau rencontrées par le plan incliné élémentaire sont déplacées suivant la ligne du mouvement d'une quantité égale au pas. Mais l'hélice tout entière étant entraînée par le bateau, il faut en déduire la vitesse de celui-ci, c'est-à-dire que l'action sera nulle pour le point donnant v tang. $\alpha = V$, et que l'eau parcourra un chemin en ligne droite, en raison de la valeur de v tang. $\alpha - V$ ou $r\omega$ tang. $\alpha - V$.

Soit ρ le rayon du centre d'impulsion de l'hélice, le point par lequel passe la résultante de toutes les pressions sur l'eau parallèles à l'axe du navire, R le rayon extérieur de l'hélice, πR^2 sera le cercle d'action de l'hélice, la base du cylindre d'eau qui sera mise en mouvement par la surface hélicoïdale, cylindre dont la hauteur sera la vitesse V du navire, car il est clair que si cette vitesse était nulle, ce serait toujours la même tranche qui serait agitée (s'il ne se produisait une aspiration par le centre, dû au second élément dont nous parlons ci-après), et que la majeure partie recevra l'action de cette surface hélicoïdale, puisqu'elle se meut plus rapidement que le bateau. Nous multiplierons l'expression de ce volume par un coefficient K' pour tenir compte de l'eau non agitée, et $K'\pi R^2 V$ deviendra l'expression du volume d'eau soumis directement à l'action de l'hélice.

La force vive du liquide qui sera mis en mouvement parallèlement au mouvement du bateau sera donnée par la formule

$$T_u = K' \frac{\pi R^2 V}{2g} (\rho\omega \text{ tang. } \alpha - V)^2.$$

La valeur de K', qui entre dans cette expression, pourrait être déterminée expérimentalement, puisqu'on peut connaître la poussée de l'hélice égale à la réaction du liquide.

Outre cet effet, d'après le mode d'action de l'hélice, une partie du liquide doit prendre un mouvement giratoire, en glissant le long des ailes sous l'influence de la force centrifuge. Sous l'action de l'hélice l'eau prend à la fois les deux vitesses, comme le montre la forme conique de l'eau qui est chassée par l'hélice en mouvement. Elle possède, quand elle quitte l'hélice, au moins en grande partie la vitesse de celle-ci, et si

nous appelons $\rho' \omega$ la vitesse moyenne de la masse, nous aurons pour la force vive correspondante, tant pour le mouvement giratoire que centrifuge :

$T_p = K'' \frac{\pi R^2 V}{2g} (\rho' + \rho'^2)\, \omega^2$, et enfin le travail moteur total consommé par le liquide sera :

$$\overset{1}{T} = KMV^3 + \frac{\pi R^2 V}{2g}\left[K'(\rho\omega \tan\alpha - V)^2 + K''(\rho' + \rho'^2)\,\omega^2\right]$$

en ajoutant aux termes précédents le travail correspondant à la progression du bateau pour avoir l'effet total produit par les machines sur le liquide dont l'inertie, en définitive, consomme tout le travail moteur.

C'est à accroître $K \frac{\pi R^2 V}{g} (\rho\omega \text{ tang. } \alpha - V)$ et par suite la valeur des premiers termes de l'équation, en diminuant celle du dernier, que les constructeurs doivent s'appliquer ; nous allons indiquer les travaux faits dans le but d'atteindre ce résultat, en discutant les divers éléments qui entrent dans les formules.

Je ferai d'abord remarquer que lorsque l'hélice se meut rapidement sans que le bateau change de place, il se produit un mouvement d'aspiration par l'effet de la force centrifuge qui amène de l'eau sur l'hélice, et entraîne, sans production de travail utile, une consommation considérable de travail moteur. Cet effet, qui n'est pas représenté explicitement dans les formules, qui répond à des valeurs particulières que prennent alors les coefficients K' et K'', est un des plus importants à considérer dans l'emploi de l'hélice. Tandis que les roues se meuvent lentement lors de la mise en marche d'un bateau muni de ce propulseur, au contraire, sur un navire à hélice, la machine tend à s'emporter au départ, à projeter l'eau en cascade. Ceci serait de peu d'importance, si cet effet ne se produisait qu'au départ ; mais il tend à se manifester d'autant plus que le navire a plus de peine à marcher, qu'un vent debout s'oppose à son mouvement, que V est nécessairement très-petit. Dans ces cas, tout le travail de la machine s'épuise d'une manière coûteuse à produire un mouvement giratoire de l'eau parfaitement inutile. Ceci montre la nécessité de naviguer avec l'hélice comme avec la voile, c'est-à-dire de louvoyer par vent contraire, sans pouvoir marcher vent debout comme le fait le bateau à roues. C'est là le seul point de supériorité du bateau à roues, ce qui le fait préférer pour le service postal ; c'est encore la cause principale des grands résultats que doit fournir la réunion sur un même navire des deux moyens de propulsion, comme je l'ai indiqué à l'art. BATEAU A VAPEUR.

Coefficient K'. — Pour que le coefficient K' soit le plus grand possible, il faut que l'eau arrive facilement sur l'hélice et qu'elle l'abandonne facilement dans la direction du mouvement; autrement elle est entretuée dans le mouvement giratoire. Cet effet est obtenu en laissant entre les ailes de l'hélice un espace suffisant en raison de leur inclinaison; d'après les résultats d'expérience, il ne faut pas que la projection de la totalité des surfaces héliçoïdales sur le cercle de base du cylindre d'eau, dépasse le tiers de la surface de ce cercle, comme nous l'avons dit.

Cette prescription répond à l'arrivée sur l'hélice d'une grande quantité de liquide pour prendre un des deux mouvements considérés. Pour faire que ce soit surtout le mouvement de même direction que celui du navire qui lui soit imprimé, il est d'autres éléments à considérer dont nous allons parler.

Valeur de R. — La valeur de R ou le diamètre de l'hélice est en général le plus grand qu'il soit possible, de manière à ce que l'hélice reste plongée de 2 ou 3 décimètres. En effet, plus l'hélice descend dans le fluide, plus elle rencontre des pressions hydrostatiques considérables qui lui fournissent un meilleur point d'appui. C'est pour ce motif entre autres que l'hélice fournit de bien meilleurs résultats avec les navires à fort tirant d'eau (quand le travail moteur est assez grand pour leur imprimer une vitesse notable) que pour les navires légers, et qu'on augmente le tirant d'eau à l'arrière des navires à hélice.

Valeur de ρ. — L'accroissement de la valeur de ρ, les dispositions qui rapprochent le centre d'action de la circonférence extérieure de l'hélice sont les plus importants pour obtenir les formes les plus avantageuses. Le pas ne doit pas être trop allongé, ce qui tend à diminuer la valeur de ρ. De plus, les ailes doivent, autant que le permet l'emplacement de l'hélice près du gouvernail, avoir beaucoup plus de largeur vers l'extrémité que vers le centre, cette dernière partie étant réduite aux dimensions nécessaires pour la solidité. En effet, en ces points, la valeur ρ tang. $\alpha - V$ est négative, la réaction du liquide est remplacée par une résistance. C'est à cause de l'inutilité de la partie centrale qu'on a pu avantageusement, selon plusieurs ingénieurs, remplacer cette partie par une sphère dont partent les ailes de l'hélice. Un cône peu allongé conviendrait sans doute mieux.

Valeur de ω *tang.* α. — L'inclinaison de l'hélice doit varier avec la vitesse. Si on veut faire celle-ci petite, ce qui peut être nécessaire pour de très-grandes machines à action directe, dans lesquelles de grandes masses sont en mouvement, il faut augmenter l'angle de l'hélice; cela n'est pas nécessaire, lorsque les machines sont divisées en plusieurs cylindres, et l'expérience montre que les résultats sont à peu près équivalents lorsque le produit ω tang. α est constant, lorsque la vitesse angulaire augmente en même temps que l'inclinaison de l'hélice diminue. Des résultats bien peu différents entre eux ont été fournis par des hélices dont les inclinaisons variaient de 25 à 45°, les nombres de bras variant. Il se produit probablement ici des phénomènes de proue liquide qui accompagne l'hélice.

Coefficient K'' *et valeur de* ρ'. — Pour que les valeurs de ces termes, dont dépend la grandeur des mouvements giratoires de l'eau, soient minimes, il faut que l'hélice ait une forme courbe prononcée perpendiculairement à l'axe. L'eau quitte alors la surface avant d'avoir pu prendre le mouvement giratoire, tandis que, se succédant toujours sur la palette allongée dans le sens de l'axe, elle prend une vitesse parallèle au sillage. C'est ainsi qu'on peut se rendre compte des excellents effets de l'hélice en queue de poisson de Cavé, dont le développement était de près d'une demi-circonférence pour chaque aile. Malheureusement ces hélices se prêtent mal à occuper la place qui leur est destinée sur les navires, elles ont trop de largeur, et il semble difficile d'utiliser leurs propriétés, à moins d'en loger deux latéralement sur les flancs arrière du bateau. Cela a déjà été fait sur des bateaux de rivière, mais ne paraît pas réalisable sur des steamers.

On aurait, nous pensons, partie de ces avantages avec des hélices dont les surfaces seraient disposées en marches d'escalier, parallèlement à l'axe de rotation, et en augmentant ainsi, autant que possible, le chemin à parcourir par l'eau pour prendre le mouvement giratoire, lui donnant une vitesse inverse dans son parcours de celle nuisible qu'elle tend à prendre. L'hélice serait formée de fragments de surface héliçoïdale.

Cette disposition nous paraîtrait bien préférable à celle qui avait été proposée par M. Holm, et dont on avait annoncé d'excellents résultats que la pratique n'a pas justifiés. Il pensait que par l'évidement en forme de cuiller qu'il proposait de pratiquer à l'extrémité des hélices, il détruirait en partie le mouvement giratoire perpendiculaire à l'axe, et le convertirait en un

entre parallèle à l'axe. Ce résultat ne pouvait être obtenu par les dispositions qu'il a proposées.

Les rebords ou cannelures saillantes, dont on avait un moment annoncé d'excellents résultats, paraissent dissimuler, répartir dans une masse d'eau plus considérable le mouvement giratoire de l'eau, bien plutôt que diminuer la déperdition du travail moteur qui en provient.

Nous terminerons par quelques données sur l'hélice du *Napoléon*, navire qui a donné une utilisation tout exceptionnelle de la puissance motrice. Son pas est variable; la surface héliçoïdale de propulsion se compose de surfaces ayant trois pas différents :

Le pas d'entrée de ces spirales est de . . 7m,30
Le pas du milieu 8m,50
Le pas de sortie. 9m,40

Dans les voyages qui ont donné les vitesses les plus grandes, le *Napoléon* a avancé de 8m,60 par tour d'hélice (Ch. Dupin, *Rapport sur l'Exposition de Londres*), c'est-à-dire que le recul a pour ainsi dire disparu, ce que l'on doit expliquer par la grande puissance appliquée à un propulseur de grande dimension et par la perfection des formes du navire.

Les expériences de MM. Moll et Bourgois, qui ont servi à la détermination des hélices des principales constructions de la flotte, leur ont permis de tracer le tableau suivant qui résume les résultats obtenus :

Table des proportions convenables des hélices propulsives.

CLASSE des Navires.	Catégories par résistances relatives	HÉLICES A 2 AILES.		HÉLICES A 4 AILES.	
		Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.	Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.
Vaisseaux mixtes (force motrice faible). .	4,0	1,205	0,378	1,607	0,378
Frégates mixtes	3,5	1,279	0,355	1,705	0,355
Vaisseaux à grde vitesse	3,0	1,357	0,334	1,810	0,334
Frégates à grde vitesse	2,50	1,450	0,313	1,933	0,313
Corvettes à grde vitesse	2,0	1 560	0,294	2,080	0,294
Avisos à grande vitesse	1,50	1,682	0,275	2,243	0,275

HORLOGERIE. *Du temps et de ses unités. — Année. Jour. Heures.* — L'idée de temps est une notion première, une conception de notre esprit qui ne peut s'analyser. Lorsque deux phénomènes s'accomplissent successivement, nous sommes affectés différemment que s'ils se sont accomplis simultanément; on dit qu'il s'est écoulé entre eux un certain intervalle de temps. C'est cet intervalle qui peut être mesuré, par suite de la notion d'unité, d'égalité dans le temps, qui peut être définie ainsi :

Deux intervalles de temps sont égaux lorsque deux corps identiques placés dans des conditions identiques ou commencement de chaque intervalle, soumis aux mêmes actions et influences de tout genre, auront parcouru le même espace.

La juxtaposition, la succession de mouvements semblables et leur enregistrement, permettent de mesurer le temps, de déterminer le nombre d'unités de temps contenues dans la durée d'un phénomène quelconque. Ainsi, supposons des sphères exactement semblables, et laissons-les tomber les unes après les autres d'une même hauteur, les durées de la chute de ces corps seront les mêmes, et on pourra additionner deux, trois, quatre semblables unités de temps.

C'est à réaliser de pareils instruments de mesure qu'est employé le travail de l'horloger; mais avant de parler des moyens qu'il emploie pour y parvenir, il faut établir quelle doit être l'unité de temps que ses appareils doivent fournir. On comprend en effet que deux appareils ne fournissent des résultats comparables qu'autant qu'ils marquent des unités semblables, et que les imperfections inhérentes à tout travail humain ne peuvent être reconnues qu'autant que des phénomènes périodiques, d'une régularité inaltérable, nous permettent de reconnaître la durée d'un certain nombre d'unités. C'est dans les phénomènes astronomiques que nous trouvons cette vérification nécessaire comme la principale subdivision qui met les fractions d'unités en rapport avec les conditions de notre existence, avec le phénomène du jour et de la nuit.

C'est dans les traités d'astronomie qu'il faut étudier les lois des phénomènes sur lesquels reposent les résultats qu'il nous importe de connaître, et que nous nous contenterons de résumer ici.

Le temps se mesure, en astronomie, par les mouvements apparents du soleil; la révolution diurne de cet astre ou la partie du temps écoulée entre deux de ses passages consécutifs au méridien du lieu, à son maximum d'élévation, forme le jour; la grande révolution de la terre ou le nombre de jours qui s'écoule entre l'instant où elle occupe un point de l'écliptique et celui où elle est de retour au même point, après avoir parcouru l'écliptique entier, fait une révolution entière autour du soleil, forme l'année.

Le temps solaire ou le temps vrai est formé de jours inégaux, en raison de la distance de la terre au soleil; le temps moyen adopté pour la vie civile où l'égalité des jours est indispensable, est mesuré par la valeur moyenne des révolutions diurnes apparentes du soleil. Il se compose donc de jours égaux, et diffère peu du jour sidéral, correspondant à la rotation quotidienne de la sphère céleste.

L'année astronomique, calculée sur le retour du soleil au point à partir duquel on a commencé à compter son mouvement apparent, est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 51 secondes. On voit combien la correction d'un jour, ajouté tous les quatre ans, chaque année bissextile, aux 365 jours de l'année ordinaire, établit une correction d'une grande approximation.

Les déterminations fondées sur les mouvements astronomiques, nécessaires à la mesure du temps, et les relations entre le temps vrai et le temps moyen se traduisent dans la pratique : 1° en des moyens de déterminer le midi vrai; 2° dans le calcul propre à passer du midi vrai au midi moyen, ce qu'on appelle l'équation du temps.

Temps vrai. — Temps moyen. — Équation du temps. — Le jour solaire, pris pour base de la division du temps par tous les peuples, est l'intervalle entre deux passages consécutifs du soleil au méridien et n'a pas une durée constante. L'astronomie a étudié les causes, la marche et l'étendue des variations.

Dans sa course annuelle autour du soleil, la terre possède divers degrés de vitesse, en raison des diverses distances où elle se trouve de cet astre. Cette vitesse est à son maximum dans la partie de l'orbite la plus rapprochée du soleil, et à son minimum à la partie la plus éloignée. Comme nous transportons au soleil le mouvement de la terre, il nous paraît se mouvoir avec les vitesses variables de la terre. Or, la rotation de la terre autour de son axe, ou la rotation apparente de la voûte céleste qui en est la conséquence, s'effectuant toujours dans le même intervalle de temps, et le soleil ne pouvant se retrouver au méridien qu'après une révo-

lution entière de la sphère, plus une petite partie de révolution proportionnelle à l'arc qu'il a décrit dans l'intervalle en sens inverse du mouvement diurne de la sphère, il est évident que la variation de grandeur de cet arc devient une cause d'inégalité pour la grandeur du jour solaire.

L'inclinaison de l'écliptique, du plan dans lequel se passe le mouvement apparent du soleil est une seconde cause de variation, comme on peut en voir la démonstration dans tous les traités d'astronomie.

Pour comparer les jours *vrais* et inégaux au jour *moyen* toujours égal, pris pour unité de mesure, on conçoit un soleil qui tourne uniformément dans l'équateur et qui achève sa révolution exactement dans le même temps que le soleil réel achève la sienne dans l'écliptique. De cette manière, en supposant que le soleil moyen parte de l'équinoxe de printemps en même temps que le soleil réel, on dit qu'il est *midi moyen* toutes les fois que le soleil moyen passe par le méridien, et à cet instant, le soleil réel se trouvant placé de telle sorte qu'il soit plus ou moins de *midi vrai*, la différence forme l'*équation du temps*.

L'Annuaire du bureau des longitudes donne chaque année et pour chaque jour le résultat du calcul qui permet d'établir ces différences en temps, les intervalles compris entre les passages au méridien du soleil moyen et du soleil vrai. Voici un extrait de cette table pour 1859, qui donnera une idée de la manière dont varie l'avance ou le retard du temps moyen sur le temps vrai.

DATES	TEMPS MOYEN au midi vrai.	DATES	TEMPS MOYEN au midi vrai.
1 janv. .	0h 3' 58"	1 juillet.	0h 3' 27"
11 dito. .	0 8 21	11 dito. .	0 5 8
21 dito. .	0 11 43	21 dito. .	0 6 3
1 février	0 13 57	1 août. .	0 6 0
11 dito. .	0 14 34	11 dito. .	0 4 56
21 dito. .	0 13 54	21 dito. .	0 2 54
1 mars. .	0 12 34	1 sept. .	11 59 49
11 dito. .	0 10 12	11 dito. .	11 56 30
21 dito. .	0 7 19	21 dito. .	11 52 59
1 avril. .	0 3 55	1 oct. .	11 49 37
11 dito. .	0 1 2	11 dito. .	11 46 45
21 dito. .	11 58 38	21 dito. .	11 44 41
1 mai. .	11 56 56	1 nov. .	11 43 42
11 dito. .	11 56 9	11 dito. .	11 44 12
21 dito. .	11 56 18	21 dito. .	11 46 5
1 juin. .	11 57 29	1 déc. .	11 49 18
11 dito. .	11 59 16	11 dito. .	11 53 34
21 dito. .	0 1 23	21 dito. .	11 58 25

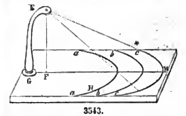
L'équation du temps est nulle quatre fois par an, savoir : le 15 avril, le 15 juin, le 31 août et le 25 décembre. Du 25 décembre au 15 avril, le temps moyen avance sur le temps vrai ; du 15 avril au 15 juin il retarde sur le temps vrai ; du 15 juin au 31 août il avance de nouveau ; et enfin, du 31 août au 25 décembre il retarde encore.

Le mouvement de déplacement du plan de l'écliptique, ou de la position de courbe elliptique que la terre décrit dans ce plan, modifient la valeur de l'équation du temps. Mais la grande lenteur avec laquelle se produisent ces nouvelles modifications fait qu'on peut regarder les résultats indiqués ci-dessus comme convenant pour un grand nombre d'années.

Détermination du midi vrai. — La détermination du midi par les observations astronomiques, à l'aide de la lunette méridienne, se mouvant rigoureusement dans le plan méridien du lieu, est obtenue avec une très-grande précision dans tous les observatoires, où les horlogers vont prendre l'heure exacte pour régler les horloges publiques. Sans observatoires, des moyens faciles et fréquemment employés dans les pays méridionaux, permettent d'obtenir le midi vrai et même les heures ; nous voulons parler des gnomons et cadrans solaires auxquels un article spécial est consacré dans cet ouvrage. La seule chose toutefois qui importe à l'horloger éloigné d'un observatoire, c'est la détermination du midi vrai, du passage du soleil au méridien du lieu à l'aide des ombres projetées. Or, elle est assez facile, et résulte de ce que ce passage correspond à une ombre qu'il est facile de reconnaître.

Les obélisques d'Égypte, les gnomons formés de corps verticaux permettent facilement cette détermination. Décrivons la solution la plus simple pour la pratique.

Tracer une méridienne sur un plan horizontal. — Il faut d'abord tracer l'intersection du plan méridien avec un plan horizontal. Après avoir assujetti ce plan bien horizontalement à l'aide d'un niveau d'eau, on fixe vers l'extrémité située vers le soleil, un style G, fig. 3543,



3543.

surmonté d'une plaque ronde E, percée d'un petit trou d'environ 3 millimètres de diamètre. Le plan dans lequel se trouve inclinée cette plaque, et le plan horizontal du cadran doivent former un angle à peu près égal au degré de la latitude du lieu où l'on construit la méridienne. Cet angle est pour Paris de 48° 50 environ. Par ce moyen, l'image du soleil qui passe par le petit trou E est sensiblement ronde sur le plan horizontal.

La hauteur du style, c'est-à-dire la hauteur E F, au-dessus du plan horizontal, n'est pas arbitraire ; elle dépend de la longueur F M du plan, afin d'avoir la méridienne la plus longue possible sans qu'elle sorte du plan les jours où, vers la fin de l'année, le soleil est le plus bas sur l'horizon. Ainsi, dans la supposition où la ligne F M aurait 65 centimètres, la ligne E F devrait avoir 20 centimètres. Si la ligne F M n'avait que 48 centimètres, la ligne E F n'aurait que 15 centimètres.

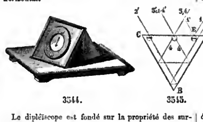
Lorsque le style est placé comme l'indique la figure, il s'agit de trouver le point F, qui doit être un des points de la méridienne. Pour cela on se sert du fil à plomb ; on en introduit le fil dans le trou E du style, et, par le milieu de ce trou, on laisse prendre l'aplomb au niveau de la pierre, et la pointe n de cet aplomb indique la place où l'on doit marquer le point F.

Le trou F bien marqué, de ce point comme centre, on décrit plusieurs arcs de cercle a, b, c, concentriques, qui servent à trouver le second point de la méridienne. Pour cela, on examine, vers neuf heures du matin, le point où l'image du soleil est exactement partagée par l'arc a, par exemple, et l'on marque le point H, on remarque quelle heure marque l'horloge ; supposons 9 heures 7 minutes, il restera donc 2 heures 53 minutes pour aller jusqu'à midi, ce qui annoncera

que la seconde opération doit se faire vers 2 heures 53 minutes après midi, si le régulateur est bien réglé. On pourrait donc attendre jusqu'à ce moment fixe; mais comme il peut y avoir quelque erreur dans le régulateur d'un côté, et à cause des variations du temps vrai de l'autre côté, on examine, vers 2 heures, si l'image du soleil est bien éloignée du même arc a. Lorsqu'elle en approche, on observe exactement et l'on marque sur cet arc le point I, de la même manière qu'on a marqué le point II. On prend exactement le milieu de cet arc I II par les moyens connus, ce qui détermine le point M. Par les deux points F, M, on trace une ligne droite qui est la méridienne cherchée.

Diplëiscope. — M. Dent, habile horloger anglais, a combiné dans ces dernières années un petit appareil fort élégant (fig. 3544) pour déterminer le midi vrai, dont l'idée est due à M. J.-M. Bloxam, inventeur très-ingénieux.

La figure 3544 représente l'instrument disposé pour l'observation, la face antérieure étant perpendiculaire au méridien du lieu, le plan sur lequel il repose étant horizontal.



3544. 3545.

Le diplëiscope est fondé sur la propriété des surfaces polies de réfléchir les rayons solaires en faisant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

Il consiste en trois plans réflecteurs DC, DB et BC (fig. 3545). DC représente la face extérieure de l'instrument formée d'une glace qui couvre les deux miroirs à face opaque DB et BC, (il constitue donc un prisme à deux faces étamées.) Supposons DC placé de façon que le rayon marqué 1 tombant sur DC en E soit renvoyé à l'œil dans la direction 1', l'image du soleil paraît avancer dans la direction de D vers C. Le rayon n° 2 traversant DC est réfléchi par CB sur DB, et enfin revient à l'œil dans la direction 2', et cette seconde image du soleil paraît se mouvoir de C vers D, et à mesure que le soleil se ment, les deux images se *rapprochent* l'une de l'autre.

Supposons que le rayon n° 1 soit arrivé en 3, et le rayon n° 2 dans la position du n° 4, il est évident qu'ils seront réfléchis tous deux dans la direction commune 3' et 4', c'est-à-dire que les deux images coïncident, ce qui indique l'instant du midi vrai; puis les rayons continuant à avancer, les images se séparent de nouveau en changeant de position relative.

Cet instrument très-simple, très-facile à placer, est d'une grande précision et a été avec raison recommandé aux horlogers pour régler leurs appareils. En permettant d'observer le premier contact des deux images du soleil et celui de leur séparation avec beaucoup d'exactitude, il fournit facilement la bissectrice de cet angle sur laquelle se produisent la coïncidence des centres, la méridienne du lieu et le moment du midi vrai.

HISTOIRE DE L'HORLOGERIE.

Nous avons dit à l'article CADRANS SOLAIRES comment on pouvait obtenir à l'aide des ombres portées par une tige, non-seulement le midi vrai, mais encore l'indication des heures. Il est inutile d'indiquer tous les motifs qui en font des appareils totalement insuffisants pour satisfaire aux besoins d'une civilisation avancée. Aussi les anciens avaient-ils inventé encore à cet effet les horloges d'eau ou CLEPSYDRES, utilisant à cet effet le mouvement uniforme résultant d'un écoulement régulier de l'eau.

Ce système était encore bien imparfait et sujet à bien des inconvénients, et il semblait naturel de chercher quelque autre mouvement uniforme et par suite propre à la mesure du temps, qui fût d'un maniement plus facile. Ce problème simple en apparence est en réalité insoluble d'une manière absolue dans la pratique, les résistances passives venant toujours s'opposer à la prolongation de tout mouvement imprimé (qui serait uniforme si aucune autre force ne venait agir sur le mobile), d'où la nécessité de l'application du travail d'une puissance égale à celui des résistances produites en chaque instant.

Horloges à poids. — Dans le système de clepsydre le plus complet que nous ayons décrit (voir CLEPSYDRE), on voit poindre le mécanisme qui a conduit plus tard aux horloges à poids. L'emploi d'un poids pour faire tourner les aiguilles d'un cadran, à l'aide de roues dentées (dont parle déjà Aristote) devait être un progrès nécessaire; mais comment empêcher le poids de se dérouler avec une grande rapidité, comment prolonger la durée de son action? Il fallait, pour y parvenir, une découverte toute spéciale, une notion des effets d'inertie et la combinaison d'organes propres à la réaliser tout à fait remarquable. Nous la ferons connaître en donnant, d'après Julien Leroy, la description du balancier et de la roue de rencontre de l'horloge du Palais de justice, construite vers 1370 par Henri de Vic, venu d'Allemagne à la demande de Charles V.

Le moteur dans cette machine est un poids attaché à une corde enroulée sur un cylindre : le poids descendant, le cylindre tourne, le mouvement de rotation se transmet par engrenages à une dernière roue verticale en forme de couronne, portant des dents dont la face antérieure est perpendiculaire au plan de la roue, en un mot semblable à ce que nous appelons une roue de rencontre que nous aurons plus loin à étudier en détail. C'est sur cette roue qu'agit l'obstacle, qui se compose d'une tige armée de deux palettes placées à angle droit l'une sur l'autre. Quand une palette est repoussée, l'autre s'engage pour être repoussée à son tour, en arrêtant ainsi à chaque instant le mouvement de la roue et avec lui le déroulement du poids moteur. L'axe vertical des palettes porte à sa partie supérieure une barre appelée foliot chargée de poids, dont l'inertie forme une résistance qui s'oppose au mouvement de la roue, en raison de la grandeur de ces poids et de leur éloignement de l'axe. Ce foliot fut plus tard remplacé par une sorte de volant circulaire qui prit le nom de balancier, suspendu comme le foliot par une double corde dont la torsion facilitait l'alternance du mouvement des palettes.

Les chocs successifs produits dans cet échappement rendus plus sensibles par la fabrication imparfaite des rouages et les grandes résistances intérieures ne permettaient pas d'obtenir avec cette disposition, tout ingénieuse qu'elle était, un haut degré de précision; toutefois l'horloge à poids ne reçut pas de changement notable jusqu'au commencement du XVI[e] siècle, par l'introduction dans son mécanisme d'un élément nouveau essentiellement propre à conduire à la précision. Nous voulons parler de la découverte des propriétés du pendule par Galilée.

Du pendule. — L'introduction du pendule dans les horloges comme perfectionnement des constructions

anciennes fut le bouleversement des systèmes antérieurs. Tandis que l'impossibilité de produire des mouvements rectilignes d'une parfaite uniformité, et d'une longue durée pour un faible travail, était reconnue, le pendule vint offrir des mouvements périodiques d'une uniformité parfaite, difficilement altérable, en un mot tout spécialement propre à la mesure du temps.

Nous étudierons bientôt les lois du pendule; mais historiquement il importe d'établir que Galilée se servit du pendule seul pour la mesure du temps. Ayant reconnu 1° que les oscillations d'une sphère pesante suspendue à l'extrémité d'un fil avaient sensiblement la même durée, quelle que soit leur amplitude, pourvu que cette amplitude soit petite; 2° que les durées des oscillations des divers pendules sont entre elles dans un certain rapport avec les longueurs du pendule; il en déduisit la possibilité de se servir des oscillations du pendule pour mesurer le temps. Il suffit en effet pour cela de mettre le pendule en mouvement et de compter les oscillations qu'il effectue dans l'intervalle du temps qu'on veut évaluer. La diminution progressive de l'amplitude de ses oscillations n'empêche pas que leur durée reste la même, comme cela résulte de la première des lois ci-dessus; et par conséquent le mouvement du pendule réalise la succession de phénomènes ayant durée égale, condition, comme nous l'avons dit, de la mesure du temps. D'un autre côté, la seconde des lois trouvées par Galilée permet, en donnant au pendule une longueur suffisante, d'obtenir une durée d'oscillation précisément égale à l'unité de temps que l'on veut adopter.

Galilée et quelques astronomes après lui employèrent en effet le pendule comme moyen de mesurer le temps dans leurs observations astronomiques. Mais l'emploi de cet instrument, si simple en lui-même, présentait des difficultés à cause de la nécessité de suivre tous ses mouvements pour compter ses oscillations et aussi à cause du peu de temps au bout duquel un pendule abandonné à lui-même cesse d'effectuer des oscillations appréciables.

L'idée d'employer un moyen mécanique d'enregistrer le nombre d'oscillations du pendule dut se présenter à Galilée, et menait à une construction d'horloges voisines de celles employées aujourd'hui. M. Boquillon, en étudiant les *Memorie e lettere di Galileo*, publiés par Venturi, en 1818, desquels il résulte qu'un certain Dominique Balectri aurait travaillé à une horloge à pendule sous les ordres de Galilée et de son fils, et en réalisant avec succès la construction indiquée dans ces lettres, a démontré avec grande probabilité les droits de Galilée à la priorité.

Horloges à poids et à pendule. — Quoi qu'il en soit, ce système a été adopté généralement et l'horlogerie de précision véritablement créée, lorsqu'en 1673, Huyghens publia son admirable traité d'horlogerie *De horologio oscillatorio ex Christiano Huygenio*, dans lequel les propriétés et les conditions d'emploi du pendule sont établies scientifiquement. C'est dans ce bel ouvrage qu'il établit les lois de l'isochronisme, qu'il prouve que l'isochronisme n'existe avec le pendule ordinaire que pour les petites oscillations, qu'il n'existe pour de grandes amplitudes que si le pendule pesant décrit, au lieu d'un cercle, une cycloïde, courbe curieuse dont il analyse, d'une manière complète, les propriétés.

Ressort spiral pour montres et chronomètres. — Ce qu'avait été le pendule pour les horlogers, le ressort spiral le fut pour les montres et chronomètres, et c'est encore à Huyghens qu'est due cette admirable découverte. Voici comment il s'exprimait, dans une communication faite par lui à l'Académie royale des sciences, en 1675; nous citons textuellement :

« Le secret de l'invention consiste en un ressort tourné en spirale, attaché par son extrémité extérieure à l'arbre d'un balancier équilibré, mais plus grand et plus pesant qu'à l'ordinaire, qui tourne sur ses pivots, et par son autre extrémité à une autre pièce qui tient à la platine de l'horloge, lequel ressort, lorsqu'on met une fois le balancier en branle, serre et desserre alternativement ses spires, et conserve, avec le peu d'aide qui lui vient par les roues de l'horloge, le mouvement du balancier, en sorte que, quoiqu'il fasse plus ou moins de tours, les temps de ses réciproquations sont toujours égaux les uns aux autres. »

Ces éléments sont les bases sur lesquelles repose toute l'horlogerie moderne, et nous n'avons plus à continuer une étude historique qu'en rappelant, dans ce qui va suivre, les noms des inventeurs en même temps que les travaux accomplis. Nous nous contenterons, pour le moment, d'un tableau où nous reproduirons, dans l'ordre chronologique, les inventions les plus importantes sur lesquelles nous allons revenir.

Application du pendule aux horloges.	Galilée. — Huyghens.
Ressort spiral.	Huyghens, 1675.
Compensation du pendule à mercure. . . .	Graham.
— à grille.	Harrison.
Échappement à roue de rencontre.	Henri de Vic, 1370; les horlogers de Nuremberg.
— à ancre.	Clément (de Londres), 1700.
— à ressort	Graham.
— à cylindre.	Id.
— libre	Arnold. — Earnshaw. — Pierre Leroy.
Théorie des engrenages.	Lahire. — Camus.
Dentures hélicoïdes. . .	Hooke. — White, 1821. — L. Bréguet, 1835. (Taille).
Suspension à ressort. . .	J. Leroy (de Paris). — Clément (de Londres).
Remontoirs d'égalité. .	Leibnitz. — Huyghens.
Échappements à force constante	A. Bréguet, 1795.
— à tourbillon.	A. Bréguet, 1797.
Mouvements différentiels.	Mudge, 1767. - Pecqueur, 1827.
Équations.	Planétaire de Huyghens, — sa méthode de fractions continues.
Montres à cylindre. . .	Lépine. — A. Bréguet.
— à répétition . .	Inventées par Barlow et Square, 1676.
Chronomètres pour la navigation	Harrison. — Mudge. — Arnold. — Pierre Leroy. — Berthoud. — A. Bréguet.
Pendules sympathiques.	A. Bréguet, 1793.
Emploi de l'électricité pour mettre à l'heure.	L. Bréguet, 1857.

Divisions de cette étude de l'horlogerie.

L'exécution des appareils chronométriques, des horloges, montres, etc., de ces ingénieuses machines dans lesquelles le travail moteur n'a d'autres fonctions que de surmonter les résistances intérieures, mais de manière à obtenir la plus grande régularité, cette exécution, disons-nous, est parvenue à un haut degré de perfection avant les derniers progrès de la mécanique moderne. On est étonné, en étudiant les timides essais de machines opératrices qui remontent à un siècle, de voir combien leur construction et leurs combinaisons étaient arriérées relativement à celles des produits de l'horlogerie, comme aussi il est facile de reconnaître combien les ateliers modernes ont utilisé, en les agrandissant, la plupart des perfectionnements appor-

tés aux machines-outils servant dans l'horlogerie, les tours et les machines à diviser notamment.

L'horlogerie est restée pendant longtemps confondue en quelque sorte avec la science que nous appelons aujourd'hui la *cinématique*, et celle-ci ne s'en est dégagée, n'a cessé d'être en quelque sorte concrète, que depuis que les applications des divers organes mécaniques se sont multipliées à l'infini en dehors de l'horlogerie. Ce qui montre bien que la pratique de l'horlogerie exige l'assimilation, pour ainsi dire complète, de ce genre de connaissances chez l'horloger constructeur, c'est non-seulement la multitude de combinaisons plus ou moins équivalentes, inventées pour modifier les diverses parties des appareils chronométriques, mais surtout que, jusqu'à ces dernières années, c'était aux horlogers qu'incombait presque toujours l'exécution de petits appareils à mouvements multiples avec laquelle ils étaient familiarisés. C'est notamment ainsi que les choses se sont passées en Angleterre lors de l'invention des métiers à tulle ; c'est ce que nous avons vu en France pour les premiers appareils de télégraphie électrique.

Un appareil chronométrique étant une machine destinée à produire le mouvement parfaitement régulier d'aiguilles indicatrices pendant un long intervalle de temps, à l'aide des oscillations uniformes du pendule ou du ressort spiral, se compose nécessairement :

1° D'un appareil moteur, d'un récepteur emmagasinant le travail (peu considérable en chaque instant, puisque ces machines n'ont à surmonter que leurs frottements intérieurs), qui est produit par l'action de *remonter* l'appareil ;

2° D'un système propre à régler et à rendre régulier le mouvement produit par la puissance motrice, — c'est le *régulateur* ;

3° D'un système guidé par le régulateur, qui empêche le travail accumulé de se consommer en peu de temps, — c'est l'*échappement* ;

4° Enfin des communications du mouvement régulier ainsi produit avec les appareils indicateurs, pour que les quantités indiquées par ceux-ci soient en rapport avec le jour moyen déterminé par la rotation de la terre, — ce sont les *rouages*, la *minuterie*.

Déterminer les meilleures formes de ces diverses parties, pour les divers cas de la pratique : les grosses horloges, les pendules astronomiques, les pendules à l'usage civil, les montres, les chronomètres ; les grandeurs et positions relatives les plus convenables, dans chaque cas, ou les calibres ; enfin déterminer la forme des meilleurs outils propres au travail des diverses pièces, telles seraient les indications qu'il faudrait réunir pour guider complétement l'horloger dans son travail ; tel est le cadre d'un véritable traité d'horlogerie.

§ I. Puissance motrice.

Dans les appareils d'horlogerie où la régularité absolue du mouvement forme le but à atteindre, la constance, l'invariabilité du travail moteur est le point de départ essentiel, et avec cette constance au départ, la constance dans la transmission de proche en proche dans les diverses parties du mécanisme.

En effet, pour chaque rouage intermédiaire entre la force motrice et les aiguilles, la force motrice est celle qui lui est communiquée par le rouage précédent. C'est assez dire combien le travail moteur des diverses machines d'horlogerie dépend des frottements et résistances qui s'y consomment et qui forment le seul emploi de ce travail ; aussi a-t-il beaucoup diminué depuis que les progrès de la construction ont réduit les frottements, fait disparaître des chocs intérieurs qui rendaient variable la force motrice que transmet le mécanisme.

Tout travail moteur comprend deux éléments, le poids soulevé, la résistance surmontée, d'une part ; et, de l'autre, le chemin parcouru par le point d'application.

Nous allons surtout nous occuper ici de la première question, du mode d'application de la force, ne pouvant guère traiter la seconde qu'en parlant des rouages, dont il sera question plus loin, à l'aide desquels on fait varier l'étendue du chemin parcouru.

Horloges à poids. — Les grosses horloges et les horloges astronomiques, tous les appareils d'horlogerie de précision qui ne doivent pas être déplacés sont toujours mus par des poids. Il n'est pas, en effet, de moyen plus simple de satisfaire à la condition de régularité absolue de l'effort moteur, condition essentielle et capitale.

3546.

La corde qui supporte le poids moteur est enroulée, par l'action du remontage de l'horloge, autour d'un cylindre (fig. 3546). Ce poids agissant toujours tangentiellement au cylindre, par suite étant toujours situé à une même distance de l'axe, donne donc un effort constant. C'est là une des causes de la régularité du mouvement de ce genre d'appareils, ce qui fait, par exemple, que des horloges en bois, mal construites, ont souvent une marche bien supérieure à celle des montres dues à des artistes d'un grand mérite, qui ne peuvent avoir ce genre de moteur.

Si, d'après la position de l'horloge, le poids moteur P peut descendre d'une hauteur H, PH est le travail moteur disponible et $\frac{H}{2\pi r}$ r étant le rayon du cylindre, le nombre de tours que fera le cylindre moteur sans que l'horloge ait besoin d'être remontée. Comme sur le cylindre qui porte le poids est ajustée la première roue dentée qui met en mouvement les rouages de l'horloge, on voit que le calcul de ces roues indiquera la vitesse de descente du poids et par suite le temps qui pourra s'écouler entre deux remontages, comme les dimensions, les résistances intérieures de l'horloge, variables surtout aux imperfections de la construction, indiquent le poids convenable dans chaque cas.

Ils varient dans les constructions modernes :

Dans les horloges de clocher de 50 à 200 kilog., et descendent d'une hauteur de 1 mètre environ, en 24 heures. — Travail moteur disponible de 500 à 1,000 kilogrammètres.



3547.

Dans les horloges astronomiques, de 3 à 4 kilog., corde comprise, et une chute de $1^m,50$. Travail moteur disponible de 5 à 6 kilogrammètres.

Lorsque la chute disponible est petite, on adapte souvent le poids moteur à une poulie mobile dont la gorge repose sur une corde s'enroulant d'une part sur le cylindre et attachée par l'autre extrémité à un point fixe (fig. 3547). On ne doit jamais moufler à plus de deux brins à cause des résistances résultant de la roideur de la corde.

Le poids de la corde a été négligé dans les considérations précédentes, à tort, surtout si on fait parcourir au poids moteur une grande longueur, puisqu'il vient s'ajouter à celui-ci à mesure qu'il descend.

On remédie par une même disposition à cet inconvénient et à la fois à une autre cause d'irrégularité, l'interruption du mouvement qui résulte du remontage.

En effet, dans le système le plus simple, le poids moteur d'une horloge est enroolé autour d'un cylindre portant une roue dentée qui fait tourner la première roue de l'horloge. Le cylindre porte un rochet qui agit seulement dans le sens de la descente du poids, mais qui ne s'oppose pas au mouvement quand on élève ce poids, quand on remonte l'horloge. Le mouvement de celle-ci est suspendu pendant cette opération, la force motrice n'agissant plus.

On évite cet inconvénient par la disposition représentée fig. 3548. On remplace le point fixe correspondant à l'extrémité de la corde par un second cylindre portant une roue à rochet R' montée sur un deuxième axe. Une corde sans fin s'enroule sur deux cylindres respectivement concentriques à ces roues, en passant sur le gorges de deux poulies mobiles. A la première est suspendu le poids moteur P, et à la deuxième un petit poids P' moindre, destiné surtout à tendre les cordons n et n' (qui font plusieurs tours sur chacun de cylindres).

3548.

Quand le poids P descend, il fait tourner la roue R, et l'horloge marche. Quand il arrive au bas de sa course, le poids P' est au haut de la sienne. Pour remonter l'horloge, on fait tourner la roue à rochet R' dans le sens indiqué par la flèche; le cordon m s'enroule et le poids P remonte tandis que P' descend. Pendant cette opération, le poids P agit toujours sur le cylindre R pour le faire tourner, de sorte que la marche de l'horloge n'est pas suspendue.

Il est clair que par cette disposition les variations de forces motrices par le changement de longueur de corde sont évitées et la force motrice 2P — 2P' reste constante. En effet, le poids P et le poids P' se meuvent inversement l'un de l'autre; l'un s'élève quand l'autre s'abaisse de quantités précisément égales puisqu'ils sont supportés par le même coude.

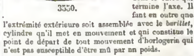
Ressort moteur pour montres et chronomètres. — Le seul genre de moteur qui remplisse les conditions de durée nécessaires pour les appareils d'horlogerie portatifs et peu volumineux, c'est le ressort enroulé, formé d'une lame d'acier longue et mince, convenablement trempée, qui a été travaillée de manière à s'enrouler d'elle-même en spirale, c'est-à-dire trempée en paquet et recuite sous cette forme.

Supposons que l'extrémité extérieure du ressort étant attachée à un point fixe, son autre extrémité soit liée à un axe susceptible de tourner sur lui-même; lorsqu'on fera tourner cet axe dans un sens convenable, il entraînera avec lui l'extrémité intérieure du ressort, les spires se serreront de plus en plus autour de lui, et le ressort prendra la forme indiquée par la fig. 3549.

Si l'on abandonne ensuite l'axe à lui-même, le ressort qui tend à reprendre sa forme primitive (fig. 3550) imprimera un mouvement de rotation à un cylindre dans lequel est renfermé ce ressort appelé *barillet*. — Il faut évidemment qu'un rochet adapté à l'axe ne lui permette de tourner que dans le sens de l'enroulement des spires, du remontage, l'empêche de se dérouler par le centre après cette opération effectuée avec une clef à tête ou à poignée entrant dans le carré qui termine l'axe. Il faut en outre que l'extrémité extérieure soit assemblée avec le *barillet*, cylindre qu'il met en mouvement et qui constitue le point de départ de tout mouvement d'horlogerie qui n'est pas susceptible d'être mû par un poids.



3549.



3550.

De la fusée. — La loi de la variation d'action du ressort qui se déroule est complexe, mais il est bien évident qu'elle doit avoir des limites assez écartées pour un ressort de même épaisseur dans toute son étendue, forme qu'on lui donne naturellement au laminoir, pour amener l'acier à la faible épaisseur de ($0^{mm},1$ à $0^{mm},3$) que ces ressorts ont en général. On a remédié à ce défaut par l'invention d'une fusée (figure 3551) consistant en un solide de révolution dont la section est à peu près parabolique et la surface entaillée d'une courbe hélicoïdale. Il est monté sur l'arbre de la grande roue et permet, par des formes convenables, d'égaliser parfaitement l'action motrice du ressort.



3551.

En effet, lorsqu'on vient de remonter la montre, ce qui se fait en tournant l'axe de la fusée avec une clef qui coiffe le carré qui le termine, le ressort moteur est complètement tendu, la chaîne est enroulée presqu'en totalité sur les spires de l'hélice de la fusée. En se détendant, le ressort fait tourner le barillet et communique le mouvement dans le même sens à la fusée, par l'intermédiaire d'une chaîne. Celle-ci se déroule sur la fusée et s'enroule sur le barillet jusqu'à ce qu'il n'en reste plus sur la fusée.

Il est clair que si la tension du ressort va sans cesse en diminuant, par contre cette tension agit à une distance de l'axe de la fusée d'autant plus grande que cette tension est moindre.

Le travail moteur, le produit de la tension par le chemin parcouru $Pr\omega$ (P la tension, r la distance de l'axe, ω la vitesse de rotation), pourra donc être parfaitement constant pour une même vitesse de la grande

roue assemblée avec la fusée, c'est-à-dire fournir une vitesse angulaire constante si la fusée est entaillée de telle sorte que le produit Pr reste constant, que les variations de r soient inverses de celles de P.

Outil à ajuster les fusées. — Pour obtenir que la variation de force du ressort soit exactement et constamment contre-balancée par la forme de la fusée, on se sert *d'un outil à ajuster les fusées*, qui n'est autre chose qu'un levier avec un poids qui s'adapte au bout carré de la fusée. La forme est convenable lorsque le poids porté pour le levier fait équilibre au ressort dans tous les points des rotations successives de la fusée.

Remontage de la montre sans arrêter. — Une ingénieuse disposition ayant le même but que celle dont nous avons parlé pour les horloges est adaptée aux chronomètres à fusée pour éviter qu'ils s'arrêtent lorsqu'on les remonte, car si la fusée n'est assemblée avec la roue d'engrenage qui lui est concentrique que par une roue à rochet qui ne les rend solidaires que dans le sens du déroulement de la chaîne, mais non dans le sens de l'enroulement, par suite, pendant le remontage, le mouvement est arrêté. On obvie à cet inconvénient par la disposition représentée sur la fig. 3552.



3552.

A la fusée est fixée une première roue à rochet R qui tourne avec elle dans l'un et l'autre sens. Cette roue, à l'aide d'un arrêt, entraîne une deuxième roue à rochet concentrique R' (qui est soumise à l'action d'un arrêt disposé inversement de celui de la roue R), mais seulement quand la montre marche, et non quand on la remonte, auquel cas cette deuxième roue reste fixe. Cette deuxième roue, quand elle tourne, fait tourner avec elle une troisième concentrique et dentée R'', laquelle est la première du rouage. A cet effet, cette troisième roue, qui est superposée à la deuxième, porte dans une rainure pratiquée dans son épaisseur un ressort *a b* fixé à cette troisième roue par une de ses extrémités *a*, et dont l'autre extrémité *b* reste libre et porte une goupille saillante qui pénètre dans la deuxième roue. Quand cette deuxième roue tourne par le mouvement régulier de la fusée, elle tend le ressort et fait tourner la roue dentée; quand la seconde roue à rochet ne tourne plus, ce qui a lieu quand on remonte la montre, le ressort fait effort pour se détendre, et comme sa goupille *b* est engagée dans la roue R' qui ne peut tourner, le mouvement de la roue dentée R'' n'est pas interrompu. Cette action du ressort n'a lieu que pendant un temps assez court, mais suffisant pour le remontage de la montre.

Suppression de la fusée. — Malgré ce qu'offre d'ingénieux la disposition de la fusée et l'avantage de la régularité d'action qu'elle peut fournir, elle n'est pas toujours employée dans les constructions modernes. Dans les montres plates à cylindre, on n'a pas une hauteur suffisante; aussi ne pourrait-on atteindre une précision assez grande si l'échappement à repos n'offrait des ressources pour atteindre un bon résultat sans fusée. Il est à observer qu'en adaptant directement au barillet la première roue, on supprime les frottements et les résistances propres à la fusée, ce qui permet d'employer un ressort plus mince, plus long, dont on n'utilise qu'un moindre déroulement; mais surtout on fait disparaître les causes de ruptures fréquentes de la chaîne et même du ressort plus épais et, par suite, se cassant plus facilement.

Travail moteur. — Le travail moteur d'une montre peut facilement s'évaluer, connaissant les efforts que permet d'apprécier facilement l'espèce de balance donnée plus haut pour l'ajustement de la fusée. Berthoud a trouvé, pour une montre à fusée, l'effort du ressort égal à 12 grammes, à une distance de 108 millimètres de l'axe.

Soit le barillet de 0,0054 de rayon, l'effort sera de 221 gr. à sa circonférence, et s'il fait 6 tours en 24 heures, le travail dépensé pendant le déroulement sera :

$221 \times 2\pi \times 0{,}0054 \times 6 = 0{,}023$ kil. mèt. On voit combien ces instruments emploient de minimes quantités de travail.

Des remontoirs d'égalité. — C'est au grand Leibnitz qu'est due la conception des remontoirs d'égalité, idée ayant quelque peu l'apparence de sophisme. On ne connaît pas complétement la disposition proposée par lui; elle paraît se rapprocher de celle proposée par Huyghens, à la même époque, qui est un peu mieux connue, et dont la plupart des systèmes tentés depuis sont des modifications.

Un remontoir est un mécanisme par lequel on cherche à mettre les parties importantes d'un appareil d'horlogerie, surtout le régulateur dont dépend la régularité de la marche, à l'abri de la variation de la force motrice, tant par suite des variations de puissance du moteur lui-même que des résistances passives que rencontre le mouvement des diverses pièces. Il consiste, en général, en un petit poids ou un ressort, qui agit directement sur les derniers mobiles; et comme l'action de ce moteur très-faible ne peut être que de peu de durée, il est remonté périodiquement par une course limitée du moteur principal, de telle sorte qu'il n'y ait pas d'interruption.

Il est évidemment bien difficile, quelque disposition que l'on imagine, de rendre certaines parties d'un appareil complétement étrangères aux pressions, aux forces qui s'exercent sur les autres parties avec lesquelles elles sont en communication, au moins momentanément. En imaginant une disposition qui fasse que cela soit théoriquement possible, le problème n'est pas encore résolu dans la pratique, il faut encore que ce soit par des moyens simples et peu compliqués, car il est des limites à la précision dans l'exécution, et des mécanismes accessoires qui ne sont pas absolument nécessaires, sont en général plus nuisibles qu'utiles. C'est la perfection du travail des pièces nécessaires, de manière à rendre les résistances passives constantes aussi bien que la force motrice, que l'on doit avant tout rechercher; c'est à éviter les chocs, les pressions considérables dans les pièces mues rapidement, d'où résultent les usures et altérations de surface, que l'on s'applique aujourd'hui bien plus qu'à multiplier des combinaisons de remontoirs fort ingénieux, mais pratiquement d'une utilité douteuse.

Cela explique comment les remontoirs sont peu employés aujourd'hui. Complétement abandonnés dans les constructions légères et petites, ce n'est guère que pour les grosses horloges, dans lesquelles des forces assez considérables sont en jeu, que l'on emploie fréquemment aujourd'hui des remontoirs.

Comme le jeu de ces remontoirs dépend souvent du mode d'action de l'échappement, que quelquefois tout l'effet est concentré dans l'échappement même (dit échappement à remontoir), nous étudierons ces systèmes après avoir parlé des échappements.

§ II. RÉGULATEUR.

Tout mouvement parfaitement régulier peut devenir la base d'un système régulateur; mais nous ne devons considérer ici comme tels que les mouvements produits

exclusivement dans ce but. Ils se réduisent à deux systèmes, le pendule et le ressort spiral, fondés l'un sur la gravité et l'autre sur l'élasticité.

Ces systèmes, possédant un mouvement parfaitement régulier, forment la base de toutes les machines employées aujourd'hui à la mesure du temps.

Pendule. Si une masse sphérique (fig. 3553), que l'on peut considérer comme un point, est suspendue à un fil, et qu'on l'éloigne de la verticale, aussitôt qu'elle sera rendue libre, elle retombera à sa première position. Mais, en vertu de sa vitesse acquise, elle dépassera la verticale et viendra décrire un arc de cercle égal au premier, car elle est soumise à la force retardatrice de la gravité dans des conditions tout à fait identiques à celles dans lesquelles celle-ci lui a imprimé la vitesse qu'elle possédait au point le plus bas de sa course. Si un suppose qu'aucune résistance ne vient contrarier ce mouvement, ou, pour rentrer dans les conditions pratiques, que l'on restitue au pendule, à chaque oscillation, la force vive que les résistances ont pu lui faire perdre, on possédera un système doué d'un mouvement parfaitement régulier.

3553.

L'amplitude de l'oscillation ne pouvant pas être déterminée certainement d'après les moyens employés pour la faire durer malgré les résistances, en un mot le force motrice et la résistance ne pouvant être toujours rigoureusement constantes, le pendule ne serait d'aucune utilité pratique si la moindre variation des amplitudes faisait varier le temps des oscillations. Heureusement il n'en est pas ainsi. Entrons avec quelques détails dans l'importante théorie du pendule.

Une boule pesante (fig. 3554) suspendue à l'extrémité d'un fil (supposé inextensible et sans pesanteur), étant éloignée de la verticale AC et amenée en B, il est bien évident que dans la demi-oscillation, pour venir de AB en AC, la boule tombera de la hauteur ED = H, E le centre de la boule et D le pied de la perpendiculaire abaissée du point B sur AC, la vitesse en C sera :

3554.

$$V = \sqrt{2gH}, \text{ d'après les lois de la pesanteur.}$$

Cette vitesse V est en chaque instant le rapport entre l'arc élémentaire parcouru S et le temps t mis à le parcourir. l étant la longueur du pendule, α l'angle décrit, la formule ci-dessus deviendra :

$$\text{puisque } S = Vt,\ \frac{l^2\alpha^2}{t^2} = 2gH \text{ ou } t^2 = \frac{l^2\alpha^2}{2gH}.$$

Soit un autre pendule de longueur l', faisant des oscillations d'un même angle α, on aura la même relation.

$$t'^2 = \frac{l'^2\alpha^2}{2gH'}.$$

Or les hauteurs H, H' sont entre elles comme les longues l, l' pour un même angle α; on a donc le rapport fondamental en horlogerie :

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{l^2\alpha^2}{l'^2\alpha^2} \times \frac{H'}{H} \text{ ou } \frac{t}{t'} = \sqrt{\frac{l}{l'}}.$$

Ou les durées des oscillations sont entre elles comme les racines carrées des longueurs des pendules.

Sachant que la longueur du pendule simple, qui bat les secondes à Paris, est $l = 0^m,993512$, on en déduira facilement la durée d'oscillation pour un pendule de longueur déterminée.

Cette durée doit pouvoir aussi se déduire de l'action de la pesanteur sur la chute verticale des corps pesants. En effet, la valeur de t est donnée par l'expression (a) $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ g étant égal pour Paris à $9^m,80896$ et pour une latitude quelconque.

$$g' = 9,80557\,(1 - 0,002588 \cos 2\lambda)$$

λ étant la latitude, et comme $\cos 2\lambda = 2\cos^2\lambda - 1$, on voit que la diminution de la pesanteur, en allant du pôle à l'équateur, sera proportionnelle au carré du cosinus de la latitude. C'est à l'aide de la formule (a), en étudiant les longueurs variables du pendule qui bat la seconde dans chaque pays, que cette loi s'établit expérimentalement et prouve l'aplatissement de la terre vers les pôles.

Nous donnerons une idée de ces variations en donnant les longueurs du pendule sexagésimal, réduites au niveau de la mer pour quelques pays.

Paris.	$0^m,9935822$
Londres	$0^m,9941232$
Rio de Janeiro	$0^m,99179483$
Spitzberg.	$0^m,99593944$

La formule $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ étant indépendante de l'angle du plus grand écartement du pendule, on en conclut l'égale durée, *l'isochronisme* des oscillations, raison de son emploi dans l'horlogerie, base sur laquelle repose toute la précision de l'horlogerie moderne.

C'est le constatation expérimentale de cette loi qui frappa Galilée et le conduisit à la théorie du pendule. On raconte que dans sa jeunesse, regardant les balancements d'une lampe suspendue à la voûte dans l'église de Pise, il fut frappé de l'égalité de durée des mouvements d'amplitude différente.

Nous donnons plus loin une table souvent utile en horlogerie pour établir les premières pièces d'un rouage d'après un pendule donné ou pour résoudre le problème inverse.

S'il peut sembler extraordinaire à priori que des arcs inégaux soient parcourus dans le même temps, il faut remarquer que la pesanteur imprime une vitesse au mobile qui croît rapidement, pour un même angle, à mesure qu'il s'écarte en distance, et que son mouvement se rapproche en direction de la verticale, position pour laquelle son action est nulle, se réduit à une traction.

Au reste, si la formule (a) permet d'établir la loi d'*isochronisme*, il importe d'observer qu'elle n'est qu'approchée, dans le cas de suspension libre comme celles à fil ou à couteau (nous parlerons plus loin de celles à ressort dans lesquelles entre un nouvel élément, l'élasticité du ressort), et qu'en réalité on néglige des facteurs comprenant l'angle d'oscillation à cause de leur petitesse. On ne doit donc pas conclure de cette formule que le temps des oscillations est absolument indépendant de la grandeur des amplitudes ; cela n'est vrai et la formule n'est applicable que pour des oscillations très-petites dont la demi-amplitude ne dépasse pas 4 ou 5 degrés, pour lesquelles les secondes puissances de l'angle α de la demi-amplitude sont négligeables. Avec ces restrictions on peut dire que les oscillations du pendule pour des amplitudes diverses sont isochrones, ont lieu dans le même temps.

Si l'angle α est un peu considérable, on devra prendre pour le temps de l'oscillation :

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{\alpha^2}{g\cdot}\right),$$

durée qui croît un peu avec la grandeur de l'amplitude.

Table de la longueur d'un pendule faisant un nombre donné d'oscillations par heure moyenne, à Paris, dans le vide, et suivant un arc infiniment petit.

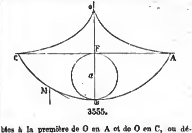
NOMBRE d'oscillations.	LONGUEUR du pendule.	NOMBRE d'oscillations.	LONGUEUR du pendule.	NOMBRE d'oscillations.	LONGUEUR du pendule.
	millim.		millim.		millim.
3600	999.827	6500	304.85	9400	145.77
3700	910 83	6600	295 68	9500	142.71
3800	894.96	6700	286.92	9600	139.76
3900	846.84	6800	278 55	9700	136.89
4000	803.00	6900	270.53	9800	134 11
4100	766 30	7000	262 80	9900	131.42
4200	730.46	7100	255.50	10000	128.80
4300	696.59	7200	248.46	10100	126.26
4400	665.29	7300	241.70	10200	123.80
4500	636.05	7400	235.24	10300	121.44
4600	608.70	7500	222.99	10400	119.08
4700	583.07	7600	222.99	10500	116.83
4800	559.03	7700	217.24	10600	114.63
4900	536.44	7800	211.70	10700	112.50
5000	515.20	7900	206.38	10800	110.43
5100	494.19	8000	201.25	10900	108.44
5200	476.33	8100	196.31	11000	106.46
5300	458.53	8200	191.55	11100	104.54
5400	441.70	8300	186.96	11200	102.68
5500	425.79	8400	182.54	11300	100.87
5600	410.71	8500	178.27	11400	99.41
5700	396.43	8600	174.14	11500	97.39
5800	382.00	8700	170.17	11600	95.72
5900	370.04	8800	166.32	11700	94.09
6000	357.78	8900	162.61	11800	92.50
6100	346.44	9000	159.04	11900	90.95
6200	335,07	9100	155.54	12000	89.44
6300	324 51	9200	152.47		
6400	314.45	9300	148.92		

En prenant pour unité le temps d'une oscillation infiniment petite qui est toujours le même, les accroissements de durée en tenant compte du terme en a seront :

Pour un angle de 60° de 0,01675
30° 0,00426
20° 0,00190
10° 0,00042
05° 0,00003

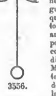
On voit que pour un arc de 5° la différence est à peine sensible.

Pendule cycloïdal. — On peut construire un pendule qui demeure isochrone pour de grandes amplitudes, par un système bien remarquable théoriquement, s'il n'a pas donné d'importants résultats dans la pratique. En étudiant les propriétés de la cycloïde, de la courbe que décrit un point de la circonférence d'une roue qui roule sur une ligne droite, Huyghens lui a reconnu la propriété curieuse d'être la *brachistochrone*, c'est-à-dire la courbe de la plus vite descente pour un corps pesant. Si, par un moyen quelconque, on pouvait obtenir que la molécule pesante formant le pendule M glissât sur une cycloïde (fig. 3555), Huyghens a montré que le temps de son oscillation serait exactement $t = \pi\sqrt{\frac{2a}{g}}$ (a étant le diamètre du cercle générateur), quelle que fût l'amplitude de l'oscillation. Il a montré en même temps le moyen de réaliser cette disposition à l'aide de la propriété de l'enveloppe de cette courbe, c'est-à-dire de la courbe sur laquelle doit s'appliquer un fil constamment tendu pour que son extrémité trace une courbe donnée, courbe qui a une relation bien simple avec la courbe primitive dans le cas actuel. En effet si on prend FO = FB et qu'on trace deux demi-cycloïdes sembla-



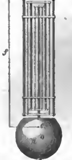
3555.

bles à la première de O en A et de O en C, on démontre que ces cycloïdes sont les enveloppées de la première. Si donc on prend le point O pour le centre d'un pendule dont la tige flexible puisse s'appliquer sur ces deux courbes, on aura un pendule cycloïdal qui pour toutes les amplitudes sera isochrone.


3556.

Cette élégante solution (fig. 3556) n'est pas restée dans la pratique; la nécessité d'employer une grande longueur de fil flexible et hygrométrique, d'où résulte le changement de longueur du pendule, ou une chaîne articulée, à frottements intérieurs, pour s'appliquer sur les éléments courbes, a empêché d'appliquer la disposition imaginée par Huyghens. Mais en faisant bien apprécier tous les éléments du problème, les travaux de cet illustre savant ont conduit à la solution adoptée aujourd'hui, qui permet d'obtenir des oscillations parfaitement isochrones, en limitant à 2 ou 3 degrés l'arc parcouru et en obtenant une énergie régulatrice suffisante en donnant à la lentille un poids assez considérable.

DU CENTRE D'OSCILLATION. — Nous avons toujours parlé jusqu'ici du *pendule simple*, c'est-à-dire de l'appareil supposé réduit à une molécule pesante placée à l'extrémité d'un fil inextensible et sans pesanteur. Tels ne peuvent être les pendules dans la réalité, ce sont des *pendules composés*, c'est-à-dire formés de molécules pesantes placées à des distances différentes du point de suspension, et qui, par conséquent, tendent à effectuer leurs oscillations dans des temps différents, réagissant par suite les unes sur les autres.



3557.

Soit un régulateur (fig. 3557) semblable à ceux qui sont généralement employés, a est le point de suspension. Un point *m* situé dans son voisinage, marcherait très-vite s'il était seul, tandis qu'au contraire les points éloignés tels que *n* devraient marcher beaucoup moins vite. Les premiers sont donc retardés par l'effet d'entraînement qu'ils produisent sur les derniers, et le mouvement de ceux-ci accéléré par suite. Donc entre le point *m* et le point *n*, il y a un point c qui n'est ni retardé ni accéléré, et qui fait son oscillation exactement comme s'il était seul et librement suspendu à

l'extrémité du fil f; ce point remarquable s'appelle le *centre d'oscillation*. La distance du centre d'oscillation au point de suspension est la *longueur du pendule*. Cette longueur est en effet égale à celle du pendule simple qui oscillerait avec la même vitesse que le pendule composé.

Le centre d'oscillation dépend de la forme du corps qui oscille, quand ce corps est homogène; et il dépend de la forme et de la densité de ses parties quand il est hétérogène. Un pendule en un seul métal aurait par exemple son centre d'oscillation en c si la tige était épaisse; il serait situé en d (centre de figure de la lentille), si elle se réduisait à une ligne mathématique.

Un petit poids que l'on placerait vers l'extrémité inférieure ferait descendre le centre d'oscillation, et il le ferait remonter si on l'ajoutait vers le haut. Aussi voit-on, dans quelques horloges, un *curseur* pesant qui peut glisser le long de la tige du pendule, et que l'on fait descendre ou monter pour faire avancer ou retarder l'horloge.

Le plus souvent cet effet se produit par la lentille elle-même qui peut être relevée ou abaissée par un petit mouvement de vis. C'est le moyen pratique de donner exactement au pendule une longueur voulue, après qu'on lui a donné une longueur approchée convenable à l'aide de mesures fournies par la formule établie plus haut.

La théorie du centre d'oscillation, du point dont la distance à l'axe de suspension détermine la longueur du pendule simple qui a même durée d'oscillation que le pendule composé, est assez difficile et donne trop peu de résultats applicables à la pratique de l'horlogerie pour que nous l'exposions en détail. Objet de très-beaux travaux de Huygheus, et ayant trouvé des applications très-heureuses à diverses théories mécaniques, cette théorie a pris une place importante dans la mécanique rationnelle, et c'est dans les traités de science pure qu'il faut l'étudier.

Nous dirons seulement qu'elle est fondée sur la considération de la valeur $MK^2 = \int r^2\,dm$, du produit de la masse du corps par le carré de la distance de l'axe autour duquel le corps effectue sa rotation à un point dit centre d'inertie, tel que ce produit soit égal à la somme totale, à l'intégrale du produit de la masse élémentaire de chaque point du corps par le carré de la distance de ce point à l'axe de rotation.

On détermine par le calcul la position du centre d'inertie pour les solides homogènes de forme régulière. Ainsi pour un cylindre ou une barre prismatique, tandis que le centre de gravité est au milieu, le centre d'oscillation est aux 2/3 de la longueur à partir du point de suspension placé à son extrémité. Pour un triangle isocèle suspendu par le sommet, aux 3/4 de sa hauteur. Pour une parabole ordinaire suspendue par le sommet, aux 5/7 de sa hauteur.

Le centre d'oscillation jouit, par rapport au centre de rotation, d'une importante propriété. Soit ABD, la section du pendule perpendiculaire à l'axe de rotation et passant par son centre de gravité, G ce centre et C le point où la section rencontre l'axe de suspension. On démontre que MK^2, étant le moment d'inertie par rapport à un axe passant par le centre de gravité, sera pour un axe parallèle au premier situé à une distance a du premier (fig. 3558) $M(K^2 + a^2)$. Si dans la donnée de la figure ci-dessus on prolonge CG jusqu'à une distance O telle que l'on ait $GO = \frac{k^2}{a}$ comme $CG = a$, et si la longueur du pendule simple isochrone avec le pendule composé est donnée par l'expression (I) $l = a + \frac{k}{a}$, on voit que O sera le centre d'oscillation.

Si, après avoir fait osciller le pendule autour de l'axe perpendiculaire à la section ABD et passant par le point C, ou le renverse, et qu'on le fasse osciller autour d'un axe passant par le point O et perpendiculaire à la même section, le point C deviendra alors le centre d'oscillation, c'est-à-dire que les centres d'oscillation et de suspension sont *réciproques* l'un de l'autre.

3558.

En effet, dans les deux cas, le moment d'inertie MK^2 est le même, puisqu'il se rapporte toujours à l'axe perpendiculaire à ABD et passant par le point G; en sorte que la quantité K ne changera pas. De plus, soit O' le point du prolongement de OO' qui sera le centre d'oscillation quand O sera devenu le centre de suspension; en appelant l' la distance OO', sa valeur se déduira de la formule (1) en remplaçant a par

$$\frac{k^2}{a} = OG, \text{ donc } l' = \frac{k^2}{a} + a = l \text{ et } OO' = CO,$$

et le point O coïncide avec le point C.

La durée d'oscillations très-petites autour des deux axes perpendiculaires à ABD et passant par les points C et O, est la même et égale à $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, l étant toujours la distance CO. Réciproquement, si la durée des oscillations très-petites est la même autour de deux axes parallèles, dont le plan contient le centre de gravité G, leur distance mutuelle sera la longueur l du pendule simple qui oscille dans le même temps.

En effet, soient a et a' les distances inégales du centre de gravité à ces deux droites parallèles, et conséquemment $a + a'$ leur distance mutuelle; soit aussi MK^2 le moment d'inertie par rapport à l'axe parallèle passant par le centre de gravité. Puisque la durée des oscillations est la même autour des deux droites, il faudra que l'on ait :

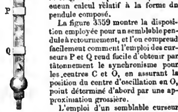
$$a' + \frac{k^2}{a'} = a + \frac{k^2}{a},$$

d'où l'on tire $\quad a = a' \text{ ou } a' = \frac{k^2}{a},$

donc en rejetant la première valeur qui correspondrait à une symétrie parfaite des formes, nous aurons :

$$a + a' = a + \frac{k^2}{a}.$$

Par conséquent, si l'on mesure la distance $a + a'$ de deux axes synchrones, on aura la longueur du pendule simple qui correspond à la durée commune de leurs oscillations.



3559.

Ce moyen a été employé avec succès en Angleterre pour déterminer la longueur du pendule simple sans aucun calcul relatif à la forme du pendule composé.

La figure 3559 montre la disposition employée pour un semblable pendule à retournement, et l'on comprend facilement comment l'emploi des curseurs P et Q rend facile d'obtenir par tâtonnement le synchronisme pour les centres C et O, en assurant la position du centre d'oscillation en O, point déterminé d'abord par une approximation grossière.

L'emploi d'un semblable curseur sur la tige du pendule, pour faire varier d'une petite quantité la position du centre d'oscillation, est assez fréquent dans l'horlogerie de haute précision. Il permet de faire varier avec une grande délicatesse (ou le fai-

sant mouvoir à l'aide d'une vis) la position du centre d'oscillation, ainsi que nous l'avons déjà dit, et par suite la longueur du pendule simple qui oscille dans le même temps que le pendule composé. Son effet, pour diminuer la longueur du pendule, sera très-grand, d'après la formule donnée plus haut, s'il est très-éloigné du centre de gravité primitif du système, de manière à diminuer beaucoup la valeur de *a*, sans toutefois être tout à fait rapproché de l'axe de suspension, ce qui annulerait la valeur de k^2 qui lui est propre.

M. Prony avait proposé d'adapter à la partie supérieure du pendule une barre portant deux boules, pouvant tourner autour de la ligne médiane de ce pendule et permettant, par les positions variables qu'on peut lui faire prendre par rapport au plan d'oscillation, d'arriver également à un règlement très-précis.

CONSTRUCTION DU PENDULE. — Le pendule des horloges se compose d'une lentille plate (forme préférable à la forme sphérique pour surmonter la résistance de l'air) suspendue par une tige. La suspension a lieu de deux manières. Dans la plupart des horloges, un peu anciennes, le pendule repose sur un plan très-dur, par l'arête d'un couteau, comme dans les balances.

Un autre système, exécuté pour la première fois en France par Julien Leroy, prévient les inconvénients qui peuvent résulter de l'oxydation du couteau. Le pendule est terminé à sa partie supérieure par une double lame (pour éviter toute torsion) plate et mince d'acier, située dans un plan perpendiculaire au plan de vibration. Cette lame est serrée à sa partie supérieure entre deux couteaux qu'on peut rapprocher à volonté à l'aide de vis.

Cette disposition fournit une ressource nouvelle pour régler exactement la longueur du pendule. En effet, la durée de l'oscillation variant avec la longueur du pendule, une horloge se réglera en faisant varier celui-ci; ce qui s'obtient en remontant, ou en descendant, soit le point de suspension, soit la lentille sur sa tige, à l'aide de vis micrométriques pour pouvoir apprécier des variations minimes. On remonte le pendule quand l'horloge retarde, pour diminuer le temps de l'oscillation; on opère inversement si elle avance.

Le grand avantage de cette disposition n'est pas seulement, par suite de la grande élasticité de la lame, de permettre au pendule d'osciller sans entraves et sans perte de force motrice, mais surtout de contribuer puissamment à assurer l'isochronisme des oscillations.

En effet, l'isochronisme résultant de ce qu'aux plus grandes amplitudes la vitesse du pendule est plus grande qu'aux petites, il est évident que cet effet sera accru par la résistance du ressort de dimensions convenables qui croît rapidement avec les amplitudes, et qui, s'ajoutant à l'action de la pesanteur, tendra à diminuer le temps des oscillations.

M. Laugier, d'après cette considération, détermine par expérience le poids de la lentille le plus convenable à l'isochronisme, pour une résistance du ressort et une longueur de pendule, au lieu de le laisser arbitraire comme on le fait trop souvent en se contentant de lui donner un assez grand poids pour que la résistance de l'air, qui croît comme le carré des dimensions quand le poids croît comme le cube, ait peu d'influence pour amoindrir les oscillations.

Nous donnerons ici quelques passages du savant mémoire de M. Laugier, pour faire apprécier l'importance de ce nouveau moyen d'assurer la perfection du pendule régulateur.

« L'horloge astronomique semble, dit-il, avoir atteint, de nos jours, le dernier degré de perfection; les artistes consciencieux avoueront cependant qu'ils ne sont pas toujours certains de réussir dans l'exécution de ces machines délicates, et qu'après avoir pris les précautions les plus minutieuses, ils arrivent parfois à des résultats qui laissent encore beaucoup à désirer : au contraire, il n'est pas rare de rencontrer des pendules médiocrement exécutées qui offrent dans leur marche une précision tout à fait extraordinaire. Ces singulières anomalies sont attribuées à des compensations qui se produisent *accidentellement* entre le régulateur, le rouage et le moteur, dans des circonstances qui n'ont pas été suffisamment étudiées.

« Parmi les pièces qui composent une horloge, une des plus importantes est celle qui sert à suspendre le pendule; elle a sur son mouvement une influence immédiate. Aussi, depuis l'époque où Huyghens appliqua le pendule aux horloges, le mode de suspension a-t-il été un sujet d'études pour les astronomes et les artistes. Dès ses premiers essais, Huyghens s'était aperçu que les oscillations du pendule n'étaient pas isochrones, de sorte qu'une diminution dans la force motrice, en rendant l'amplitude plus petite, faisait avancer l'horloge. Pour obvier à cet inconvénient, il imagina le pendule cycloïdal, qui offre dans la pratique des difficultés qui, malheureusement, n'ont pas été surmontées. Il a donc été abandonné. On imagina ensuite les suspensions à ressort et à couteau.

« L'idée de faire concourir le ressort de suspension à l'isochronisme des oscillations du pendule n'est pas nouvelle : elle se trouve exposée avec quelques détails dans l'*Histoire de la mesure du temps* par Ferdinand Berthoud; mais on n'a pas fait jusqu'ici d'expériences concluantes pour en démontrer l'efficacité. Ferdinand Berthoud lui-même ne paraît pas avoir attaché une grande importance à cette idée, car il employait habituellement la suspension à couteau, et, dans son *Essai sur l'Horlogerie*, il rejette la suspension à ressort comme défectueuse et comme laissant au mouvement du pendule moins de liberté que la suspension à couteau.

« Guillaume Clément, horloger de Londres, auteur de plusieurs perfectionnements importants, paraît avoir employé le premier la suspension à ressort; il rechercha toujours les ressorts les plus flexibles, afin de laisser au mouvement du pendule le plus de liberté possible. Cette flexibilité est encore aujourd'hui recommandée par les horlogers, et, pour l'obtenir, ils donnent au ressort de suspension une assez grande longueur; son action est cependant d'autant plus sensible que sa longueur est plus petite, et cette seule considération aurait dû faire sortir de la voie ordinaire ceux qui préconisaient la suspension à ressort, à cause de l'influence même de ce mode de suspension sur le mouvement du pendule. Si l'on réfléchit à la manière dont s'exécute le mouvement du pendule, on voit que deux effets distincts concourent à son isochronisme : le premier tient à la flexion du ressort qui, à chaque instant, diminue d'autant plus la longueur du pendule, qu'il s'écarte davantage de la verticale; le second, qui paraît être le plus considérable, est causé par la résistance du ressort; il ajoute à l'intensité de la pesanteur un terme variable avec l'amplitude et augmentant sans cesse avec elle. Ce terme diminue toujours la durée des oscillations et a d'autant plus d'influence que l'amplitude est plus considérable; on conçoit, d'après cela, qu'en choisissant convenablement le ressort de suspension, ce double effet, dû à sa flexion et à sa résistance, puisse en chaque point de l'arc décrit par le centre de gravité du pendule être égal à la différence qui ordinairement se manifeste entre les durées des oscillations suivant l'amplitude : en d'autres termes, on conçoit que ce double effet puisse varier de manière à rendre le pendule isochrone. Si la force du ressort est très-faible relativement au poids de la lentille, les oscillations auront une durée moindre dans les petits arcs que dans les grands, comme il arrive ordinairement; mais si l'on augmente la force du ressort, il peut se faire que la

durée des oscillations diminue lorsque l'amplitude augmente dans de certaines limites, de sorte que l'on aura, pour ainsi dire, dépassé l'isochronisme.

« Nos expériences ont confirmé la justesse de ces considérations, car elles ont réalisé les différents cas qui viennent d'être énumérés : on peut s'en convaincre en jetant un coup d'œil sur le tableau où nous avons réuni tous les résultats de nos observations. Nous allons maintenant donner quelques détails sur l'appareil que nous avons employé et sur la méthode que nous avons suivie.

« Le pendule qui a servi pendant toute la durée des expériences est formé d'une règle de sapin de 1 mètre de longueur, de 5 centimètres de largeur et de 5 millimètres d'épaisseur. Une des extrémités de la règle, portant une pièce de cuivre taraudée, peut être fixée par une vis au centre même de la lentille; l'autre extrémité, également garnie de cuivre, peut s'accrocher à la pièce de suspension. On sait que le sapin éprouve de si légers changements de longueur par des variations de température assez considérables, qu'il a été proposé pour remplacer les grils métalliques destinés à produire la compensation : nous avons eu soin d'ailleurs d'opérer à des températures peu différentes, et des thermomètres placés dans la cage destinée à préserver le pendule des courants d'air n'ont varié qu'entre 18 et 23 degrés centigrades (c'est-à-dire de 4 degrés centigrades) pendant toute la durée de nos expériences. Ainsi l'on peut considérer notre pendule comme ayant été indifférent aux variations de température.

« L'appareil de suspension consiste en deux lames élastiques d'acier trempé, dont chaque extrémité, traversée par de petites goupilles, est pincée fortement entre deux plaques de cuivre vissées l'une contre l'autre; les deux plaques de l'extrémité inférieure du ressort portent un axe auquel le pendule peut être accroché, et celles de l'extrémité supérieure font corps avec un chevalet en cuivre, épais de 17 millimètres et dont le diamètre a 22 centimètres de longueur. Ce chevalet a été fixé au mur avec une extrême solidité, à l'aide d'un fort crochet en fer qu'on y avait profondément scellé, et de trois vis situées à 120 degrés de distance, qui, prenant leurs points d'appui sur le mur lui-même, maintenaient le chevalet contre la tête du crochet. Nous insistons sur ces détails pour qu'on ait une entière sécurité relativement à la fixité de la suspension, d'où dépend en grande partie l'exactitude des résultats.

« L'action du ressort de suspension est liée directement au poids de la lentille oscillante; aussi, afin d'étudier cette action, nous avons fait usage de quatre lentilles en cuivre, des poids de 2, 4, 6 et 8 kilogrammes, et de deux ressorts pris dans le même morceau d'acier trempé; comme nous venons de le dire, chaque *essai* de suspension se compose de deux lames élastiques. Celles qui constituent le premier *essai* ont 24/100es de millimètre d'épaisseur, 5 millimètres de largeur et 1 millimètre de longueur; ce ressort a été successivement combiné avec les quatre lentilles. Les deux lames qui forment le second *essai* ont même épaisseur et même largeur que les premières; leur longueur est de 3 millimètres : ce second ressort a été combiné avec les lentilles de 4, 6 et 8 kilogrammes. Nous avons eu ainsi sept pendules que l'on a fait osciller chacun un grand nombre de fois dans les amplitudes de 1, de 3 et de 5 degrés.

« Pour observer la durée des oscillations du pendule dans une amplitude déterminée, dans l'amplitude de 5 degrés, par exemple, on commençait l'expérience lorsque l'amplitude était de 7 degrés, et on la terminait lorsqu'elle était de 3 degrés; de sorte que le pendule pouvait être considéré comme ayant oscillé dans l'amplitude *moyenne* de 5 degrés. Nous nous sommes assurés, en scindant la série en plusieurs parties, que la petite erreur que l'on commettait en opérant ainsi, inférieure de beaucoup aux erreurs des observations, était tout à fait négligeable. Les amplitudes extrêmes que l'on a choisies étaient de 4 et 2 degrés pour l'amplitude moyenne de 3 degrés, et de 1 1/2 et 1/2 degré pour l'amplitude moyenne de 1 degré.

« La méthode que nous avons suivie pour déterminer exactement la durée du nombre d'oscillations que faisait le pendule libre dans une certaine amplitude, consiste à le comparer un grand nombre de fois, au commencement et à la fin de chaque série, avec une horloge dont la marche était déterminée par des observations astronomiques. Un compteur réglé sur le pendule en expérience et placé à côté de lui indiquait à chaque instant le nombre de ses oscillations. On peut se convaincre, d'après l'accord qui existe entre les différentes observations, de l'exactitude du résultat définitif. Le nombre des oscillations dans chaque expérience ne dépassant guère 2,000, nous avons choisi la durée de 2,000 oscillations pour terme de comparaison : de cette manière, les erreurs d'observation ont conservé leur véritable grandeur dans les résultats que nous publions, et la comparaison peut en être faite immédiatement.

« Ce sont les nombres exprimant la durée de 2,000 oscillations qui figurent dans le tableau que nous avons dressé. On y verra que, pour les quatre premiers pendules, la durée des oscillations est moindre dans les grandes amplitudes que dans les petites, et que la différence est d'autant moindre que le poids de la lentille est plus considérable. On aurait sans doute obtenu l'isochronisme si l'on eût opéré avec des lentilles de plus en plus lourdes.

« Les pendules numéros VI et VII, au contraire, exécutent des oscillations d'autant plus lentes que l'amplitude est plus grande, de sorte que les ressorts qui, combinés avec les lentilles de ces deux pendules, produiraient l'isochronisme, devraient, si l'expression nous est permise, avoir des propriétés intermédiaires entre celles des deux ressorts dont nous nous sommes servis. On remarquera enfin que le pendule n° V offre l'exemple d'un isochronisme presque rigoureux dans les amplitudes comprises entre 1 et 5 degrés. Quoique ce résultat n'ait été obtenu que pour un nombre d'oscillations peu différent de 2,000, il n'est pas douteux qu'on ne puisse l'étendre à un nombre quelconque d'oscillations, puisque, d'après nos observations, on peut, à volonté, se tenir en deçà de l'isochronisme, ou le dépasser de beaucoup.

« Il résulte donc de ces expériences que, le poids de la lentille fixé à une règle de sapin étant donné, on peut trouver un ressort de suspension qui rende le pendule isochrone.

« Il sera certainement très-intéressant de connaître la loi mathématique qui lie la force du ressort au poids de la lentille; mais, peut-être, ne dispensera-t-elle pas d'avoir recours à l'expérience pour déterminer le poids de la lentille qui, avec un ressort donné, rendra un pendule isochrone. En effet, la constitution moléculaire de ce ressort, et le degré de trempe qu'il a reçu, sont des éléments fort importants qu'il est bien difficile d'apprécier numériquement. Pour faire ressortir leur influence, nous prîmes un ressort dont les dimensions étaient exactement les mêmes que celles du deuxième ressort, et nous le substituâmes à celui-ci dans la cinquième expérience pour laquelle l'isochronisme existe à très-peu près : cette observation fut décisive. Avec ce ressort de même dimension, mais qui avait été tiré d'un autre morceau d'acier, la différence entre les durées de 2,000 oscillations, dans les amplitudes de 1 et de 5 degrés, s'élève à trois dixièmes de seconde (en 3' 20'').

« Quoi qu'il en soit, les artistes préféreront toujours

procéder expérimentalement. Si l'on dirige bien les essais, on peut en quelques jours rendre un pendule isochrone. Comme il est indispensable que la position du ressort soit tout à fait invariable, il vaut mieux faire porter les tâtonnements sur le poids de la lentille, en conservant toujours le même ressort de suspension. Pour faire l'expérience plus commodément, on pourra se servir d'une lentille composée de plusieurs disques parallèles (et verticaux), que l'on remplacera à volonté par d'autres plus ou moins lourds. »

	Durée de 2.000 oscillations exprimées en secondes sidérales.		
	Amplit. de 1 degré.	Amplit. de 3 degrés.	Amplit. de 5 degrés.
Expérience n° 1 : Lentille de 2 kilog. Ressorts (A) Moyennes. . .	1977,00	1975,86	1974,37
Expérience n° 2 : Lentille de 4 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	2010,55	2009,84	2008,93
Expérience n° 3 : Lentille de 6 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	2020,31	2019,80	2019,34
Expérience n° 4 : Lentille de 8 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	2027,04	2026,68	2026,38
Expérience n° 5 : Lentille de 4 kilog. Ressorts (B). Moyennes. . .	2024,96	2024,99	2024,99
Expérience n° 6 : Lentille de 6 kilog. Ressorts (B). Moyennes . . .	2030,28	2030,34	2030,37
Expérience n° 7 : Lentille de 8 kilog. Ressorts (B). Moyennes. . .	2034,81	2034,84	2434,99

Les ressorts (A) ont 5 millimètres de largeur, 24/100 de millimètre d'épaisseur, et 1 millimètre de longueur, éloignés entre eux de deux à trois pouces.

Les ressorts (B) ont même largeur et même épaisseur que les premiers ressorts ; leur longueur est de 3 millimètres.

COMPENSATION DU PENDULE.

La longueur convenable, une fois réglée, doit rester parfaitement invariable, pour que la marche de l'horloge soit régulière. Il faut donc se mettre à l'abri de toutes les causes de variation de longueur, ce qui a lieu, en général, par la perfection de la construction. Il est cependant une variation à laquelle ces soins ne peuvent remédier directement, c'est celle qui provient des variations de température. Il est facile, par un calcul très-simple, d'apprécier combien cette cause d'erreur serait considérable si on n'y pouvait obvier.

Soit un pendule de 999mm,82 de longueur (battant la seconde) formé d'une tringle d'acier.

D'après Berthoud une verge d'acier se dilatera pour 27° de chaleur de 0mm,4, la longueur du pendule deviendra 1,00022. Or, d'après la relation $t : T :: N : n :: \sqrt{l} : \sqrt{L}$, N étant égal à 3600 pour une heure, on déterminera n qu'on trouve égal à 3599"142 par heure, c'est-à-dire que la chaleur fera retarder l'horloge de 0"858 par heure, de 20"592 par jour.

On voit combien cet effet est considérable et combien il importe d'appliquer les systèmes qui permettent de remédier à cet inconvénient, c'est-à-dire d'employer des pendules compensateurs.

Le remède le plus simple est de former la tige du pendule par une petite règle de sapin, à fil bien droit, séchée et vernie avec soin. Cette substance ne varie pas d'une manière appréciable.

Pendule à gril de Harrison.

Concevons qu'abandonnant la forme rectiligne, on donne à la tige du pendule la forme brisée ABCDEFGH (fig. 3560). On voit que la distance A H sera mesurée (tous les angles étant des angles droits) par AB + CD — EF + GH = L longueur totale du pendule. Le changement total de la longueur de la tige sera le résultat des changements partiels de ces quantités. Les longueurs AB, CD, GH, en s'abaissant par l'effet de la chaleur, tendront à abaisser la lentille ; mais il n'en est pas de même de EF qui par sa dilatation tend à la remonter. Cette partie étant faite en un métal plus dilatable que celui qui sert à faire les autres côtés du gril, soit K le coefficient de dilatation de ce dernier, K' celui du métal plus dilatable, la compensation sera établie si l'on a : $(AB + CD + GH) K = EF \times K'$ ou appelant C cette longueur EF et L la première $LK = CK'$ ou enfin $L = C \left(\frac{K'}{K}\right)$.

3560.

Les coefficients de dilatation des substances qui peuvent entrer dans de semblables appareils, leurs allongements pour 1° sont les suivants :

Verre	1/116100
Acier.	1/87000
Cuivre jaune.	1/53300
Zinc.	1/34000

On voit qu'un pendule peut parfaitement être exécuté dans le système de la figure ci-dessus en acier et zinc, car $\frac{K'}{K} = 2,60$ et par suite $L = 2,60$ C.

Si au contraire on voulait employer acier et cuivre, la disposition ci-dessus deviendrait insuffisante, car $\frac{K'}{K} = 1,66$ et on aurait $L = 1,66$ C, ce qui conduit à une proportion difficile à réaliser.

On peut remédier à cet inconvénient en multipliant le nombre des cadres. En en prenant quatre, deux en acier et deux en cuivre, comme dans le pendule représenté fig. 3561, on arrive, en raisonnant comme ci-dessus, à l'équation $u' + a'' = L = (C + C') \frac{K'}{K}$ C et C' étant les longueurs des côtés verticaux des cadres en cuivre, il devient plus facile de compenser le pendule.

Ces calculs ne peuvent être qu'approximatifs, car l'addition du métal des tiges change la position du centre d'oscillation ; il faut donc faire quelques tâtonnements pour compléter la compensation. L'action du poids de la lentille sur les barres qui la supportent et les assemblages, ne s'établit pas en outre dès le premier jour. Enfin, il faut tenir compte des compensations qui s'établissent dans l'appareil, de l'action de la chaleur sur la masse de l'appareil, qui, dans ces cas, comme dans la plupart des cas de la pratique de l'horlogerie, exige quelques tâtonnements pour le règlement.

3561.

Julien Leroy a proposé, en 1738, un autre genre de pendule, en mettant à profit la facilité que donne la suspension à ressort de dépla-

cer facilement le point de suspension du pendule.

Une traverse fixe supporte (fig. 356 2) un tube de laiton qui supporte une barre de fer, dont la seconde partie, placée en dehors du tube, forme la tige du pendule. Ces parties sont réunies par une double lame d'acier mince et flexible, qui passe à travers une fente pratiquée dans la traverse fixe; les bords aigus de cette traverse représentent l'axe de suspension du pendule. Quand la température s'élève, le tube de laiton se dilate et tend à remonter la lentille, tandis que l'allongement de la tringle de fer tend à la faire descendre · f, f, étant les longueurs des tiges de fer, c celle du tube de laiton, K et K' les coefficients de dilatation du fer et du cuivre. La compensation sera obtenue si $(f+f)\ K = c\ K'$. Comme K est égal aux $\frac{2}{3}$ à peu près de K', et que $f = c$, cette équation revient à $2f = c$. On voit de suite que ce système a le défaut d'augmenter démesurément la hauteur de l'horloge.

3562.

On a cherché à réaliser une construction équivalente, en disposant horizontalement l'appareil compensateur (fig. 3563). Les lames flexibles d'acier qui portent le pendule traversent une fente pratiquée dans une pièce fixée au bâti et sont portées par le bras m d'un levier coudé, dont le second bras n s'appuie sur une barre métallique, formée par un métal plus dilatable que celui de la barre supérieure qui porte le levier. Si L et l sont les longueurs de ces barres, K et K' les coefficients de dilatation des métaux dont elles sont formées, pour qu'il y ait compensation, il faudra que l'on ait $L\ K = l\ K'\ \frac{n}{m}$. Inutile d'insister sur les imperfections de ce système; les dimensions du levier sont trop petites pour transmettre sûrement des effets minimes.



3563.

Système de Graham. — Emploi du mercure.

Graham, célèbre horloger anglais, paraît avoir été le premier qui ait proposé un moyen de compensation pour les pendules. Son invention consistait à se servir d'une tige solide, et d'un tube de verre contenant du mercure pour former la lentille (fig. 3564). Si l'allongement de la tige produit par l'élévation de la température tend à abaisser le centre d'oscillation, la dilatation plus considérable du mercure tend à le relever; le problème se réduit à déterminer la quantité de mercure nécessaire pour opérer une compensation exacte.

Si l'on considère le centre d'oscillation comme se confondant avec le centre de gravité de la lentille, ce qui est peu différent de la réalité, la masse de la lentille étant très-grande relativement à celle de la tige, l étant la longueur de la tige, K le coefficient de dilatation de la substance dont elle est formée, LK sera l'allongement pour 1°, l'abaissement du centre de gravité de la masse de mercure. Mais, en même temps, le mercure occupant une hauteur h dans le tube, sa dilatation tendra à relever le même centre de gravité relativement au fond du tube de $K'\frac{h}{2}$, K' étant le coefficient de la dilatation linéaire de la colonne du mercure dans le verre qui le renferme, déduite de la dilatation apparente totale égale à $\frac{1}{6488}$ du volume d'après Dulong et Petit. On aura donc l'équation $LK = \frac{h}{2}K'$ pour déterminer la hauteur H du mercure dans le tube qui peut établir la compensation.

3564.

Soit $\pi r^2 h$ le volume du cylindre de mercure, sa dilatation pour 1° sera $(\pi r^2 h)\frac{1}{6480} = K'$, la formule ci-dessus revient donc à $LK = \frac{h}{2}\frac{\pi r^2 h}{6480} = \frac{\pi r^2 h^2}{2 \times 6480} = \frac{r^2 h^2}{4127}$.

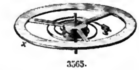
Le déplacement du mercure, lors des oscillations du pendule, fait quelque peu varier la position du centre de gravité, lorsqu'on renferme, comme Graham, le mercure dans un seul réservoir, si on voulait l'appliquer à des constructions de grande dimension. Il n'en est plus ainsi avec la disposition récemment imaginée et qui paraît faire préférer le pendule à mercure au pendule à gril, dont les barres ne peuvent varier de longueur sans faire naître des frottements considérables le long des barrettes qui maintiennent leur parallélisme. Elle consiste à diviser le mercure dans un faisceau de tubes parallèles, ce qui offre encore l'avantage qu'il se met plus rapidement en équilibre de température avec l'air ambiant, par l'accroissement des surfaces, dans le même temps que la tige d'acier qui le supporte.

C'est M. Duchemin, artiste français, qui paraît avoir eu le premier l'idée de cette disposition.

La non-conductibilité et la fragilité du verre présentant quelques inconvénients, on a quelquefois renfermé le mercure dans un cylindre en fer; sa conductibilité rend les effets plus prompts, mais sa plus grande dilatation en diminue l'intensité.

RÉGULATEUR A RESSORT SPIRAL.

Le régulateur des montres et chronomètres se compose de deux pièces, le spiral et le balancier. Son invention fut inspirée sans doute à Huyghens par la corde tordue qui supportait le balancier des vieilles horloges. Le spiral étant un ressort d'acier tourné en spirale (fig. 3565), d'une élasticité parfaite, si l'extrémité extérieure étant fixe, on bande l'extrémité intérieure, celle du centre, d'une certaine quantité, aussitôt que l'effort cessera, le ressort reviendra à sa première position, puis la dépassera par une extension égale à la compression, comme le fait une lame élastique que l'on fait vibrer.



3565.

Ces oscillations seraient beaucoup trop promptes; c'est pour les ralentir qu'on introduit dans le système une masse à mouvoir par le spiral. Elle consiste en un balancier, une roue faisant effet de volant, dont la masse principale, disposée à la circonférence, tient au

centre par trois ou quatre bras. Ce balancier doit être centré avec le plus grand soin, autrement, la force centrifuge en tout cas, et dans la position verticale de la montre, la gravité viendrait augmenter ou diminuer la force de rotation du spiral en agissant comme force accélératrice ou retardatrice ; toute régularité serait alors détruite.

Formes des spiraux. Pour que l'action du ressort spiral soit bien régulière, il faut qu'il agisse tout entier, et, pour cela, que sa courbure soit régulière, que l'inflexion du métal soit la même en chaque point.

Si la place ne manque pas, comme dans les chronomètres, le ressort se fait en hélice, avec une hauteur proportionnée à la résistance ; dans une montre, les spires s'enroulent dans un même plan, le ressort à hélice est obtenu à l'aide d'une lame droite qu'on enroule autour d'une tige cylindrique pour le tremper, ce qui donne une inclinaison constante à ses éléments successifs, et une hélice dont le rayon de courbure est constant. En enroulant le petit fil d'acier sur lui-même, dans un même plan, on a dans le second cas une spirale d'Archimède. Dans un curieux travail, M. Philips vient de démontrer que la propriété de faire agir le ressort également à la fois par l'élasticité de tous ses points, tenait surtout à la manière d'attacher l'extrémité du spiral au balancier, de manière à la faire rentrer dans l'intérieur en lui donnant une forme elliptique.

Par suite de l'élasticité parfaite de ces petites lames d'acier très-déliées, l'action des oscillations du balancier placé à leur extrémité, tend à modifier simultanément l'inclinaison mutuelle de tous les éléments successifs. Voyons ce qui en doit résulter pour les deux formes que nous considérons.

Si nous examinons d'abord ce qui se passe dans une lame élastique rectiligne encastrée par son extrémité A (fig. 3566), lorsqu'on l'écarte de sa position initiale, on sait qu'elle se courbera d'une manière à peu près régulière si son élasticité est très-grande, dans les positions symétriques qu'elle prendra autour de la position moyenne AB, la convexité de la ligne courbe qu'elle forme étant toujours tournée vers AB.

B' B A B"

3566.

Or, on sait qu'une hélice n'est autre qu'une droite enroulée sur un cylindre, et les effets d'élasticité qui s'y produisent doivent être en tout semblables à ceux que nous venons de reconnaître dans une lame vibrante (fig. 3567). Ainsi un effort exercé pour resserrer les spires, par exemple, par l'effet de la rotation du balancier auquel une impulsion est imprimée, tend à augmenter ou diminuer le rapprochement des spires dans le sens vertical, si l'épaisseur est constante. Si elle est moindre au milieu, comme les faisait A. Bréguet, et que par suite les variations des rayons de courbure y soient plus grandes que dans les autres parties, les spires du milieu se gonflent entre le point fixe et le point d'impulsion, et le ressort prend l'aspect gonflé par le milieu que représente la figure 3568.

Inversement, lorsque le mouvement du balancier est amorti par la résistance croissante du ressort, et que par suite il revient en sens inverse, parcourant un arc précisément égal au premier, ce dernier genre de ressort, à l'extrémité de cette course, correspondant à la ligne AB" de la verge rectiligne, devra présenter au milieu l'effet de raccourcissement correspondant à la partie concave (car le ressort hélicoïdal est toujours vu extérieurement par la même face), c'est-à-dire donnera la figure représentée figure 3569.






3567. 3568. 3569.

Les effets du ressort spiral représenté fig. 3565, renfermé dans un même plan, sont tout à fait analogues aux précédents. Le ressort attaché à l'axe du balancier s'enroule en quelque sorte autour de celui-ci par l'effet de l'impulsion ; les spires, en se resserrant, se rapprochent du centre ; dans la période inverse, elles s'en écartent, et cet effet produit comme un balancement qui frappe la vue lorsque l'on considère le mouvement d'une montre.

Longueur des spiraux. La longueur à donner aux spiraux pour atteindre l'isochronisme est une des plus grandes difficultés de l'art de l'horloger ; l'importance est la même que celle de la longueur du pendule pour les horloges. Mais l'élasticité qui dépend de la nature variable de chaque morceau d'acier ne permet pas, comme la pesanteur, de déterminer la longueur convenable dans chaque cas. On se guide d'après une loi remarquable que Pierre Leroy a déduite de l'expérience, savoir : *Il y a dans tous les ressorts spiraux d'une longueur suffisante une longueur où toutes les vibrations, grandes ou petites, sont isochrones. Pour une longueur supérieure, les grandes vibrations sont plus lentes que les courtes, et inversement pour une longueur moindre.*

Pour bien comprendre cette propriété, qui se rapporte à un spiral faisant un nombre de tours déterminé et qui, avec un tour de plus ou de moins, pourrait satisfaire encore à de nouvelles conditions d'isochronisme, il faut remarquer que plus les arcs du balancier sont grands, plus le spiral est armé, plus il parcourt l'arc rétrograde avec vitesse. Si donc la force du spiral croît dans une proportion plus grande que celle de l'étendue des arcs (ce qui arrivera s'il est court, si ses éléments sont fortement infléchis les uns sur les autres par un petit enroulement), le spiral accélérera les grands arcs comparés aux petits ; si, au contraire, la force du spiral augmente dans une proportion moindre que l'étendue des arcs (ce qui arrivera pour une grande longueur du spiral), pour une augmentation de force motrice, le spiral retardera les grands arcs comparés aux petits. Il existe donc pour les ressorts spiraux une certaine progression de force, en raison de petites variations de longueur qui peuvent rendre isochrones entre elles des vibrations d'inégale étendue, et par conséquent procurer une régularité qui, sans cela, est impossible. Le spiral isochrone est celui auquel on est parvenu à donner cette progression en en variant la longueur.

Les spiraux croissent en résistance à mesure qu'on les arme, mais cette résistance ne suit pas dans tous la même progression.

Un spiral en mouvement, remarque A. Bréguet, ne doit pas avoir de lames en repos, ou qui travaillent en sens contraire des autres, ou qui, sans mouvements dans une certaine étendue d'arc, finissent par en prendre un très-grand quand les arcs augmentent. Dans ces cas, le spiral n'agirait (ni en résistance ni en action) en progression arithmétique régulière.

On rencontre surtout cet inconvénient en assemblant le spiral avec le point fixe ; le piton, dans son ajustement avec son support, doit se fixer sans causer aucun bridage au spiral, qui ne doit jamais éprouver

qu'une tension d'élasticité, sans qu'aucune cause doive engendrer des frottements.

Raquette. — Puisque c'est la longueur du spiral qui détermine l'isochronisme, condition essentielle de sa perfection, il faut pouvoir faire varier très-lentement cette longueur pour régler l'appareil. Nous donnons ici la représentation de la raquette, qui permet de faire varier très-simplement la longueur exacte du spiral (fig. 3570). Elle se compose d'une petite pièce qui peut tourner à frottement doux autour du centre du balancier, quand on pousse la pointe A. En B sont placées deux goupilles très rapprochées, qui serrent le spiral près de son extrémité fixe M. La partie comprise entre B et M ne vibre donc pas. Le spiral sera donc allongé ou diminué en raison du mouvement de la raquette, et amené ainsi à la longueur convenable.

A

B M

3570.

Les mouvements en ligne droite n'altèrent pas la marche des ressorts spiraux; mais il n'en est pas de même des mouvements circulaires qui ont lieu dans le plan du balancier et qui agissent évidemment en accélérant ou retardant son mouvement propre. C'est pour diminuer surtout cette cause d'erreurs qu'on rend très-grande la vitesse de vibration. Le nombre des vibrations est de cinq ou six par deux secondes dans les chronomètres.

Du balancier. — Disons encore quelques mots du balancier, du volant régulateur dont la masse détermine la vitesse du mouvement du spiral.

Nous venons d'observer que la vitesse du balancier était le grand moyen d'annuler l'influence des causes de perturbation auxquelles une montre peut être sujette. Sa force vive, sa masse multipliée par le carré de sa vitesse, doit donc toujours être très grande.

Le moyen par excellence pour obtenir l'invariabilité du frottement qui est la condition de perfection essentielle, consiste à faire les pivots du balancier très-durs, très-polis, d'un diamètre minimum que comporte la solidité et de les faire rouler dans des trous extrêmement durs et parfaitement polis. On satisfait à cette condition en faisant l'axe du balancier en acier et les trous en pierres dures. Nous verrons quel degré de précision l'on réalise dans les chronomètres surtout; et cependant si les variations de résistance altérant la durée d'une oscillation de $\frac{1}{86400}$, l'erreur sera de 1 seconde en 24 heures; 2 secondes le lendemain et ainsi de suite.

Il est difficile de régler théoriquement les rapports de la force du spiral et du poids du balancier que l'on doit imiter de constructions réussies ou déterminer par tâtonnement.

Pour analyser ces rapports, supposons qu'on règle une montre avec deux balanciers, l'un trop léger, l'autre trop lourd. Dans le premier cas, le tremblement seul du spiral suffira pour déranger fréquemment les oscillations, et dans le second cas, la masse énorme du balancier ayant peu de vitesse, le moindre mouvement dans le jeu du balancier altérera la durée des vibrations par l'excès de puissance qu'il aura sur le spiral. Nous verrons plus loin la confirmation du principe qu'il vaut mieux se rapprocher de la première limite que de la seconde, d'un balancier trop léger que d'un trop lourd, chercher le point qui correspond au maximum de force vive emmagasinée dans le système régulateur, et qui correspond évidemment à des arcs fort étendus.

De la suspension du balancier par des cônes. — Laissons la parole à A. Bréguet :

Un des plus grands obstacles à la conservation de l'isochronisme des oscillations du balancier est le changement dans les frottements de la suspension et par suite les degrés différents de liberté du régulateur dans son roulement sur ses pivots. On conçoit facilement que, l'isochronisme absolu étant atteint autant qu'il est possible, malgré l'effet des résistances et des impulsions de l'échappement et dans les diverses étendues d'arc, malgré les changements produits par les températures, le frottement des pivots du balancier, si l'une de ces données change, l'équilibre de ces effets si difficile à obtenir se trouve rompu, et l'isochronisme se perd. Or, les pivots du balancier ne peuvent rouler dans leurs trous, soit en métal, soit en rubis, sans une petite portion d'huile qui supprime le contact immédiat des surfaces et les empêche de s'entre-détruire. Cette précaution est inévitable; mais l'huile s'épaissit à la longue et malgré la réduction de diamètre des pivots qui au reste a des bornes et laisse encore trop de prise à l'épaississement de l'huile.

De fréquentes réflexions sur ce sujet me suggérèrent le moyen de réduire presqu'au dernier point le diamètre de la partie en contact des pivots, tout en leur conservant beaucoup plus de force qu'ils n'en ont ordinairement.

Ce moyen consiste à donner aux extrémités de l'axe une forme conique, sous un angle donné par l'expérience, et à faire rouler la pointe de ces cônes imperceptiblement arrondie dans les concavités sphériques de deux rubis, qui les reçoivent. Ces concavités sphériques doivent avoir aussi une dimension donnée, et sont pratiquées au fond d'un cône creux exécuté dans chaque rubis, sous un angle beaucoup plus ouvert que celui des cônes de l'axe.

Pour la précision des effets de l'échappement, on sait que les pivots du régulateur ne doivent avoir tout juste dans leurs trous que le jeu latéral nécessaire, pour qu'un peu d'huile s'y introduise, et que le pivot roule néanmoins librement. On donna aussi à l'axe un peu de jeu en hauteur, pour qu'il ne soit pas gêné par la pression des coquerets, ou des rubis plats sur lesquels le bout arrondi d'un des pivots s'appuie lorsque le balancier se trouve dans l'une des deux situations horizontales. Dans toutes ces dispositions, en un mot, on s'attache à donner aux pivots le plus de liberté possible, sans trop de jeu, et l'on n'eût jamais imaginé qu'ils fussent susceptibles d'éprouver une pression continue, un frottement direct, sans que le balancier perdît, inégalement, une grande partie de son mouvement et de sa vitesse, enfin sans faire évanouir toutes les propriétés de l'isochronisme et de l'équilibre général des effets par les variations si probables d'un tel frottement. Cependant, l'expérience de notre nouvelle disposition a prouvé le contraire. Il serait impossible, d'après ce que nous venons de dire, d'obtenir les effets si précis de l'échappement, dans les diverses positions, si les pointes des cônes de l'axe pouvaient occuper librement divers points de la concavité sphérique dans laquelle elles roulent. Il a donc fallu les contenir dans le centre par le procédé suivant. Les rubis creusés coniquement sont portés par des ressorts qui pressent sur les pointes de l'axe par une légère tension, réglée en raison du poids du balancier. Cette pression retient les pointes des cônes de l'axe au centre de la concavité pratiquée au fond des cônes de rubis, et il faut que dans toutes les positions du chronomètre l'axe du régulateur ne cesse pas d'être assez pressé et assez également par les cônes de rubis, pour que son poids ne puisse le faire sortir du centre des concavités sphériques, à moins d'une secousse qui, en faisant écarter les ressorts, porterait alors les pointes de l'axe sur les surfaces coniques des rubis. Il doit aussi y avoir pour ce cas des collets de sûreté qui environnent le tigeron, sans y toucher, afin que, par les secousses, les pointes ne puissent sortir du diamètre des cônes de rubis, et que l'action élastique des ressorts les fasse revenir au centre instantanément. Il doit aussi y avoir, en arrière des ressorts, des côtoirs avec rappel, qui bornent la

cession des ressorts dans le cas de ces mêmes secousses, dans le sens de la longueur de l'axe.

Nous avons éprouvé dans un grand nombre de pièces que le balancier pressé dans le sens de sa longueur par des ressorts est aussi libre que dans la suspension ordinaire; mais nous avons trouvé qu'il conservait plus constamment l'étendue de ses arcs, et que, exempt du ballottage inévitable des pivots ordinaires, par le jeu des trous que l'huile et la liberté nécessitent, il avait une action plus régulière, relativement aux pénétrations de l'échappement dans les diverses positions; que l'étendue de ces points de contact, réduite ainsi à la plus petite expression, laisse beaucoup moins de prise à l'épaississement de l'huile, et régularise les frottements; mais nous avouons que cette construction, lorsqu'on l'emploie pour la première fois, est difficile, qu'elle demande de grands soins, et qu'il faut plus d'une expérience pour en déterminer les formes et les dimensions.

De la compensation. — La nécessité qui fait employer des pendules compensateurs dans les horloges n'existe pas moins pour les appareils à ressort moteur que dans les horloges. La difficulté d'effectuer une compensation des effets de la chaleur est toutefois plus grande dans ce cas.

Berthoud s'était proposé d'opérer la compensation par le spiral, c'est-à-dire d'agir sur lui par un système analogue à la raquette, en raison de la dilatation d'une lame convenablement située. Ce système qui sacrifie l'isochronisme du spiral n'est pas admissible, et n'a jamais donné des résultats satisfaisants. C'est sur le balancier qu'on s'est efforcé de pratiquer la compensation, de corriger la variation des amplitudes résultant à la fois de la variation des diamètres du balancier et du spiral, produite par la chaleur. C'est à quoi l'on est parvenu par l'emploi de lames compensatrices pour le cas où la plus grande précision est nécessaire pour les chronomètres, car pour les montres à l'usage civil, la place manque pour corriger les erreurs par un semblable moyen.

Pour bien faire sentir l'effet de la chaleur sur le balancier qui ne paraît pas nécessairement devoir être le même que pour le pendule, nous rapporterons ici une expérience que nous trouvons dans les papiers de A. Bréguet.

Un balancier de cuivre portant des spiraux d'égale force mis en opposition, sans échappement, a été armé à 180 degrés, successivement à trois températures différentes. On a compté le nombre des vibrations qu'il faisait avant que l'axe d'oscillation fût réduit à 60 degrés. On a eu ainsi les résultats suivants :

A zéro temp. la balancier a perdu	120° d'étendue d'arc		en 78 oscil.	
A 10°	—	—	120° —	80 —
A 30°	—	—	120° —	81 1/2

Ainsi la température croissant, le rayon du balancier augmentant, sa force vive pour une même amplitude angulaire va en grandissant et les pertes d'amplitude sont moins rapides.

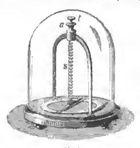
Lames compensatrices pour chronomètres. — Ce système est composé de deux lames inégalement dilatables, soit que ces lames aient été soudées ensemble, soit (ce qui est défectueux) qu'elles aient été clouées l'une sur l'autre par des rivets très-rapprochés. Supposons qu'une telle lame soit formée par exemple de zinc et de fer, et qu'elle soit droite à la température de 20 degrés, il est évident qu'au-dessus de 20 degrés elle devra se courber, le zinc étant sur la convexité puisqu'il s'allonge plus que le fer.

Si on compose la couronne d'un balancier de chronomètre d'arcs doubles construits ainsi que nous venons de le dire, il est clair qu'en même temps que la chaleur allonge les diamètres du balancier, elle fait recourber (fig. 3571) les lames de compensation assemblées aux extrémités de ces rayons, et que, par suite, les extrémités H de ces arcs se rapprochent du centre. On comprend aisément cet effet peut compenser le premier en choisissant des positions convenables des masses a', a', fixées symétriquement vers les extrémités de ces arcs, et permet d'obtenir des oscillations isochrones malgré les variations de la température, autant du moins que peuvent concorder ces effets.



3571.

Thermomètre de Bréguet. — L'étude des propriétés des lames compensatrices a conduit A. Bréguet à construire son ingénieux thermomètre, le plus délicat et le plus commode des thermomètres métalliques (fig. 3572).



3572.

Il se compose d'un petit ruban de métal de 1 à 2 millimètres de largeur, qui est roulé en spire comme le représente la figure. La spire est attachée par son sommet à une pièce de cuivre qui la laisse parfaitement libre et isolée, et, à son extrémité inférieure, elle porte une aiguille horizontale, très-légère, dont la pointe parcourt la circonférence du cercle divisé *cc'*.

Le ruban de l'hélice est composé de trois couches métalliques superposées, argent, or et platine : la couche d'or qui est au milieu sert à souder les deux autres. Ce système, d'abord d'une certaine épaisseur, est réduit au laminoir à n'avoir plus que 1/60mm de millimètre; la masse du métal étant si minime, l'instrument peut prendre rapidement la température de l'air ambiant.

Par l'inégale dilatation du platine et de l'argent, la spire se tord ou se détord, quand la température s'élève ou s'abaisse, et l'aiguille se meut pour obéir à ces mouvements. On gradue cet instrument en comparant sa marche à celle d'un thermomètre à mercure très-sensible, sans qu'on puisse jamais obtenir des marches proportionnelles. Mais laissons la parole à l'inventeur pour traiter la question des lames compensatrices.

Les effets de ces thermomètres ne sont pas semblables entre eux, ni proportionnels à celui du thermomètre à mercure. Ils ne paraissent pas libres dans leur action. Il est probable que la principale cause de cette différence de progression est causée par la résistance élastique qu'éprouvent continuellement les lames collées

ensemble qui ne produisent de mouvement dans les variations de température que par leur différence de tension, qui augmente d'autant plus que la température devient plus froide; et, en conséquence, il en résulte plus d'effort de la part des lames l'une sur l'autre, et plus d'action absorbée par l'élasticité, ce qui altère d'autant la progression naturelle qui existerait s'il n'y avait ni frottement, ni élasticité à vaincre dans l'action des lames au moment où la température varie leur longueur.

On s'en rendra compte mieux encore si l'on suit la construction de ces lames composées. On prend un morceau de platine d'une ligne et demie de largeur, et d'un quart de ligne d'épaisseur. On y applique avec une soudure forte une lame d'or à 24 karats, d'un huitième de ligne d'épaisseur, puis on y soude encore fortement une plaque d'argent fin d'une demi-ligne. On tire ce morceau composé de ces trois métaux jusqu'à ce qu'il soit arrivé à la dimension la plus mince, sans que le métal soit endommagé; ce qui permet de l'amener à $\frac{1}{48}$ de ligne d'épaisseur, et de la largeur qu'on juge à propos. Il suffit pour cela d'avoir des filières bien faites et décroissant lentement.

Les expériences sur ces nouveaux thermomètres m'ont démontré que mes craintes sur la fidélité de l'effet des balanciers compensateurs n'étaient que trop fondées, étant tous faits sur les mêmes principes, c'est-à-dire de deux ou trois lames de métaux de dilatation différente. Ces lames sont jointes ensemble par de la soudure, ou fondues l'une sur l'autre, ou goupillées. Elles ne peuvent agir que par un état forcé, et ne peuvent se fixer que dans un état d'équilibre; le malheur est que jamais l'équilibre n'est parfait. Le frottement d'adhérence est toujours auxiliaire d'une des lames. C'est un combat des lames toujours en tendance d'efforts pour se séparer, d'où résulte à la longue un sentiment de séparation et de déchirement, d'autant plus qu'elles ont été plus longtemps fixées plus près de leurs extrêmes de froid et de chaud, d'où résulte dans ce cas qu'en partant du froid pour arriver à 10 degrés, ou du chaud pour arriver également à cette même température, ces lames ne se fixeront pas au même point. En arrivant du froid, elles se fixeront à 9 degrés, et à 11 degrés en arrivant du chaud. Ce qui tourmente d'autant plus l'artiste, qu'après de longs et ennuyeux tâtonnements il ne sait si les variations qu'il observe lorsqu'on applique les lames bi-métalliques aux chronomètres tiennent au défaut d'isochronisme, ou à des frottements, ou aux lames de compensation, aux huiles, etc. Les procédés pour faire les lames les moins défectueuses sont connus, mais on n'est pas maître du degré de feu, de l'homogénéité de la matière.

L'effet du balancier compensateur ne peut pas être parfait, car sur un très-grand nombre de thermomètres métalliques il nous a été impossible de faire dans nos expériences que la même température, indiquée sur un thermomètre à mercure, ramenât constamment le pyromètre sur la même division, et cela se comprend assez d'après une observation de M. Arago, qui nous dit avoir remarqué, dans des barres métalliques dont il cherchait à mesurer la dilatation, qu'il fallait frapper légèrement la barre pour lui faire prendre la longueur qu'elle devait avoir. Autrement elle a une espèce de paresse à opérer son changement de dimension, tant dans un sens que dans l'autre. Aussi notre pyromètre marchait-il quelquefois par saccades de 4 à 5 degrés.

Exécution des balanciers compensateurs.—Expliquons le tour de main à l'aide duquel on exécute aujourd'hui les balanciers compensateurs.

Lorsque l'on veut exécuter un balancier compensateur, on prend un disque d'acier fin de deux millimètres environ plus grand que ne doit être le balancier définitif, et d'une épaisseur double de celui-ci. On perce un trou au centre de ce disque, on le met sur un arbre, et à l'aide du tour et du burin on creuse une rainure, sur une de ses faces, le plus près possible de l'extrémité de son diamètre. Il faut que cette rainure, qui doit être faite carrément, atteigne au moins les trois quarts de l'épaisseur totale du disque; puis, lorsqu'il est ainsi disposé, on remplit surabondamment la rainure de grenaille de laiton, on ajoute une quantité suffisante de borax, on pose le tout horizontalement dans le fond d'un creuset que l'on place sur un feu ardent, et bientôt la chaleur fait fondre le laiton qui remplit hermétiquement la rainure aux parois de laquelle il se soude naturellement. On remet le disque sur le tour et on diminue au burin son diamètre jusqu'à ce que l'on ait fait disparaître l'écorce d'acier restée en dehors et mis à découvert le cuivre qui remplit la rainure. Il faut diminuer alors l'épaisseur du disque du côté opposé à la rainure, jusqu'à ce que le cuivre paraisse de ce côté comme il paraît de l'autre. Cette opération étant terminée, on creuse au burin, carrément et d'un seul côté, toute cette partie du disque qui s'étend depuis le trou central jusqu'à son rayon extrême, en ne laissant subsister à sa circonférence qu'une épaisseur d'acier équivalente au plus à la moitié de celle de cuivre qui y adhère extérieurement. On met ensuite le fond à jour en y réservant seulement deux barrettes dont la largeur doit être proportionnée à l'étendue et à la pesanteur totale du balancier. On conserve autour du trou central une rondelle assez large de diamètre pour pouvoir y fixer l'axe au moyen de deux ou trois petites vis. Lorsque cette ébauche est faite, il faut poser les masses compensantes sur le cercle bi-métallique, comme on le voit dans la figure ci-jointe. C'est alors que l'on coupe ce cercle à une distance assez rapprochée de chaque barrette. Les lames bi-métalliques forment alors deux segments de cercle fixés par un bout et libres de l'autre, et chacun d'eux se rapproche ou s'éloigne du centre en proportion de la chaleur ou du froid qu'ils éprouvent. Le poids des masses compensantes est équilibré par les masses réglantes qui sont placées à vis sur les petites portions du cercle que l'on voit dans la figure. Les masses compensantes ne se placent pas indifféremment sur un point quelconque des segments de cercles bi-métalliques; c'est en éprouvant la marche de la montre par différentes températures que l'on parvient, souvent après bien des tâtonnements, à trouver définitivement la place où l'on doit placer ces masses.

Autres systèmes de balanciers compensateurs. — La compensation par lames bi-métalliques laisse quelque chose à désirer pour la construction des appareils auxquels il importe de donner la plus grande précision possible, les chronomètres. En effet, la courbure des arcs bi-métalliques varie suivant une loi bien difficile à saisir, qui n'est sûrement pas celle qui pourrait fournir une compensation exacte à toute température; elle varie avec l'état des métaux laminés, leur épaisseur relative, la force centrifuge qui tend à ouvrir les arcs. A l'aide des masses de position variable dont on garnit leurs extrémités, on parvient à les régler pour deux températures voulues, mais on ne remédie pas aux variations qui se passent en dehors ou même en dedans de ces limites.

Toutefois, avec le peu de place dont on dispose, avec la nécessité de ne pas compliquer, par des pièces juxtaposées, un petit balancier qui doit se mouvoir avec beaucoup de vitesse et rester toujours bien centré, on n'a encore rien trouvé qui fût préférable aux lames bi-métalliques.

Nous nous contenterons d'indiquer ici, en quelques mots, les principaux essais tentés en dehors de ces lames.

On a essayé de placer sur les rayons du balancier, fait entièrement en laiton, de petites tringles d'un métal moins dilatable que le laiton, d'acier par exemple, qui sont assemblées avec la couronne du balancier, à l'extrémité du diamètre qu'elles forment, et qui, assez longues, portent à leur extrémité des masses pesantes. Ces masses, se rapprochant du centre, lors de l'accroissement du rayon du balancier par la dilatation, paraîtraient, théoriquement bien construites, pouvoir fournir toute la régularité du pendule à gril, mais, en pratique, les résultats sont insuffisants. La longueur du rayon est trop petite, relativement aux différences de dilatation des métaux que l'on peut employer pour que ce système puisse suffire.

Un second système imité de Pierre Leroy, et procédant du compensateur à mercure appliqué aux chronomètres, a été tenté plusieurs fois. M. Loseby (de Londres) a mis à l'Exposition universelle de 18 1 un balancier de cette nature pour compléter la compensation obtenue avec des arcs bi-métalliques. Il forme la masse de compensation avec le réservoir d'un petit thermomètre à mercure, dont le tige se dirige vers le centre du balancier en suivant une courbe d'autant moins prononcée qu'elle se rapproche plus du centre.

Un allongement d'un millimètre de la colonne de mercure aura une influence tout autre s'il se produit dans la partie du tube la plus courbée et qui fait presque partie du cercle du balancier, ou bien si, comme cela arrive, la température s'élevant, il se produit dans la partie la plus rapprochée du centre. — Ce système serait bon à cause de la possibilité de faire varier à volonté les mouvements du mercure par une proportion et une forme convenable du réservoir et de la tige, si la complication qui en résulte ne faisait naître d'autres inconvénients, si la difficulté de disposer symétriquement des appareils identiques autour de l'axe du balancier n'était très-grande.

§ III. — ÉCHAPPEMENT.

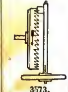
Nous avons vu comment il était possible de réaliser pratiquement l'isochronisme des oscillations d'un régulateur qui constitue l'âme de tout appareil chronométrique. Pour que cet isochronisme subsiste, une condition indispensable reste à remplir, c'est que le mouvement du régulateur ne diminue pas peu à peu; car par l'effet de la résistance de l'air, des frottements, tout pendule, tout balancier serait bientôt ramené au repos, si des impulsions successives ne venaient lui restituer une force vive égale à celle consommée en chaque instant par le travail des résistances. Telle est la fonction principale que remplit le genre d'organe constitutif de toute horloge dit échappement qui est chargé de communiquer au régulateur en chaque instant une quantité convenable du travail fourni par le moteur. Leur seconde fonction est de faire naître pour chaque oscillation un élément de chemin circulaire, une partie de rotation qui rend facile l'enregistrement sur un cadran du nombre des oscillations, par communication entre rouages successifs, et cela en suspendant la production du travail moteur, le déroulement du ressort ou du poids moteur par exemple, de telle sorte qu'au lieu d'être consommé en un instant, il suffise pendant une longue période de temps à surmonter les frottements et résistances intérieures de l'appareil à la vitesse normale des organes.

Satisfaire à ces conditions sans altérer l'isochronisme des oscillations du régulateur, tel est le problème à résoudre par les échappements. Comme ils consistent essentiellement en un système d'arrêt du mouvement de rotation imprimé par la force motrice, il est facile d'en combiner bien des dispositions, bien des systemes. C'est une maladie de l'horlogerie moderne que chacun cherche l'échappement parfait capable d'agir sans huile, sans frottement, etc. Nous allons voir qu'il y a peu à faire dans cette voie, où tout ce qu'il était possible d'imaginer paraît avoir été fait et où les systèmes adoptés donnent les meilleurs résultats quand l'exécution est convenable, et paraissent se rapprocher beaucoup des limites de la perfection qu'il est possible d'obtenir dans les œuvres qui sortent de la main de l'homme.

1° *Échappement à recul.*

Nous parlerons d'abord de l'échappement imaginé le premier et qui servit longtemps et exclusivement pour tous les appareils servant à la mesure du temps. Cet échappement, dit à palettes, est essentiellement à recul, condition essentielle du mode d'action du balancier régulateur, employé pour modérer le déroulement du rouage par leur effet d'inertie. Décrivons son mode d'action.

Dans l'*échappement à palettes* (fig. 3573), le mouvement du balancier est communiqué à son axe placé à angle droit de la roue d'échappement et qui porte des palettes formant entre elles un angle d'environ 90°, en sorte que, lorsque échappe une dent de la roue sur laquelle agit l'une des palettes, l'autre se présente à une dent diamétralement opposée de la roue, qui l'écarte à son tour, tellement que la roue tournent toujours du même côté, le balancier va et vient sur lui-même, et ses vibrations règlent et modèrent la vitesse de la roue.


3573.

Cet organe était le seul régulateur des premières horloges; n'agissant que par sa seule inertie, retardant le déroulement du rouage en raison de sa masse, il était bien imparfait jusqu'à ce que Huyghens eût muni le balancier d'un ressort spiral.

Nous ne parlerons ici que du cas où le balancier est armé d'un ressort spiral isochrone, et alors, bien que cet échappement soit maintenant abandonné et qu'on lui préfère celui à cylindre, il peut, bien construit, donner de bons résultats. Voici les règles qui doivent être suivies pour sa construction, d'après M. Wagner: proportion assurant, pour une montre, un mouvement suffisant du balancier:

1° Ouverture des palettes (angle qu'elles font entre elles), de 100 à 115 degrés;

2° Longueur des palettes égale à la moitié de l'intervalle d'une dent à l'autre;

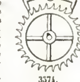
3° Inclinaison de la face des dents de la roue par rapport à son axe, 30 à 35 degrés;

4° Levée totale de 40 degrés, c'est-à-dire que l'espace parcouru par l'échappement pendant la durée du contact d'une dent doit comprendre 20 degrés à droite et à gauche.

Nous n'entrerons pas dans d'autres détails relativement à cet échappement aujourd'hui abandonné avec juste raison. Les ébranlements résultant de chocs ne sauraient être le moyen d'action d'un appareil à mesurer le temps. Si le mode d'action de cet échappement convenait assez bien à des constructions imparfaites, grâce à des compensations d'erreurs qui s'y produisaient naturellement et si son fonctionnement était souvent assez satisfaisant sans renouvellement des huiles, les progrès de la construction ont rendu bien préférable l'emploi des échappements à repos dont nous allons traiter en détail. C'est surtout pour les horloges que ceci est vrai, l'échappement à palettes ne pouvant fonctionner avec un pendule décrivant de petits arcs, condition nécessaire, comme nous l'avons dit, de l'isochronisme du pendule.

2° *Échappements à repos.*

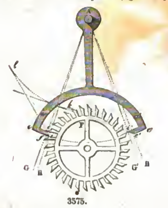
Échappement à ancre. — Un pendule oscillant dans des temps égaux et entraînant avec lui dans son mouvement deux arrêts réunis par une barre, une espèce d'ancre qui fait corps avec lui, telle est la forme la plus employée. Cet échappement offre cet avantage sur le précédent, que les palettes sont dans le plan de la roue d'échappement. Dans la position représentée dans la figure, la roue est arrêtée par le bec de gauche de l'ancre et l'action du moteur suspendue. Il en sera de même pour le bec de droite de l'ancre à l'oscillation inverse du pendule. En deux oscillations, il passe ainsi une dent devant chaque bec, et la roue fait un tour en une minute, si elle porte 30 dents et si le pendule est de la longueur convenable pour battre les secondes.



3574.

Entrons dans quelques détails relativement à la construction et au tracé de cet échappement en traitant de l'échappement de Graham, qui n'est qu'une variété de l'échappement à ancre souvent employée dans les horloges de précision.

L'ancre oscille autour du point A (fig. 3575) par



3575.

l'effet du pendule, qui se meut en arrière et est lié avec elle par une pièce dite *fourchette*, qui, faisant partie de l'ancre, embrasse la tige du pendule.

Les becs *ce*, *c'e'*, d'une épaisseur égale à l'intervalle entre deux dents de la roue pour éviter tout choc, sont formés d'un arc de cercle décrit du centre A ; ce sont eux qui ont pour fonction d'arrêter les dents de la roue d'échappement.

Ils sont terminés par les plans inclinés *ei*, *e'i'* contre lesquels la roue F vient s'appuyer pour forcer le pendule à continuer son oscillation.

Si le bec se terminait par une ligne passant par le centre A (qui, d'après la construction, serait tangente à la roue), il est évident qu'aussitôt que la partie supérieure du bec atteindrait l'extrémité de la dent, la roue F, devenue libre, tournerait, et la seconde fonction de l'échappement ne serait pas satisfaisante. Mais en le terminant par un plan incliné, l'ancre est repoussée du petit arc *if*. Soit *e* l'épaisseur du bec, α l'angle du coin additionnel, on aura $if = e$ tang. α, et l'angle supplémentaire β décrit (GAH sur la figure) sera obtenu, $l = Ai$ étant la longueur du rayon de l'échappement, par l'équation $l\beta = if$, d'où $\beta = \frac{e \text{ tang. } \alpha}{l}$. Réciproquement l'angle β étant donné, cette formule pourra servir à déterminer tang. α.

On voit sur la figure comment on trace les becs d'après la grandeur assignée à cet angle β. Supposons qu'on veuille le faire de deux degrés (il varie en général de deux à trois degrés). On mène les droites AG, AG' tangentes à la circonférence de la roue F, points de tangence qui détermineront le tracé de l'ancre et la position de deux dents sur la roue, l'une quittée par l'un des becs, tandis que l'autre commence à être supportée par l'autre bec. Si on mène les deux lignes AH, AH' faisant un angle de deux degrés avec les tangentes AG, AG', les droites *ei*, *e'i'* qui joignent les points de rencontre de ces lignes avec celles qui limitent l'épaisseur des becs, formeront les plans inclinés correspondant à un angle β de deux degrés.

Il importe de remarquer que si on faisait tourner les lignes AG', AH' autour du point A, jusqu'à ce qu'elles coïncidassent avec les lignes AG, AH, il est évident que les lignes *ei*, *e'i'* coïncideraient également. Si donc on avait tracé du point A un cercle tangent à la première, la seconde prolongée, qui se confond alors avec elle, eût été tangente au même cercle.

Il résulte de cette observation le moyen de faire toujours des fuyants semblables, dans un même échappement ou des échappements différents, en s'assurant, à l'aide d'un cercle ou disque, si les deux fuyants se dirigent à une même distance du centre de l'échappement, et si, par suite, les moments des impulsions dues à la roue sont bien égaux : au reste cette égalité absolue n'est pas d'une extrême importance pour les deux becs d'un même échappement ; ce qui importe surtout à la régularité, c'est que la somme des impulsions des deux becs soit constante.

L'échappement étant construit d'après ces données, il est évident que, pendant le mouvement de la roue F, la pointe de la dent placée au sommet du fuyant *ei* forcera l'ancre à se déplacer de droite à gauche de la quantité *e* tang. α dont ce fuyant pénètre en dedans de la circonférence de la roue, et que l'autre fuyant pénétrera de la même quantité entre deux dents de l'autre côté de la roue ; de sorte que lorsque le fuyant *ei* laissera échapper la dent qui le pousse, une autre dent se trouvera en contact avec le sommet *s'* du fuyant *e'i'* ; mais le mouvement acquis par le pendule, en vertu de l'impulsion qu'il vient de recevoir, continuera d'entraîner l'échappement dans la bonne direction ; de sorte que la pointe de la dent, au lieu d'agir immédiatement sur le fuyant *e'i'*, restera en contact avec la courbe *e'c'* pendant la continuation du mouvement de droite à gauche du pendule et de l'ancre, et pendant leur retour de gauche à droite, jusqu'à ce que le sommet *s'* du fuyant *e'i'* soit revenu à la pointe de la dent (cette quantité s'appelle arc additionnel ou supplémentaire) ; cette dent, agissant ensuite sur ce fuyant, donnera à l'échappement une impulsion de gauche à droite qui restituera le travail perdu par les frottements depuis l'impulsion précédente.

Nous avons admis dans ce qui précède que les becs de l'échappement étaient placés sur la tangente à la roue menée du point A. Il est aisé de montrer que cette position est la plus convenable. En effet, la roue en tournant ne peut agir que dans le sens de sa circonférence, perpendiculairement à la tangente au point de contact ; si donc celle-ci ne passe pas par le point A, il y aura décomposition de la force autour du point de contact de la dent, et, par suite, emploi nuisible d'une

partie de cette force à faire naître des frottements sur les pivots, tendance à les déplacer.

Les arcs *cc*, *c' c'* étant décrits du centre d'oscillation A pris pour centre, il en résulte que, pendant la durée du contact de chaque dent avec ces arcs, la roue F n'a aucun mouvement. C'est pour cela qu'on dit, dans ce cas, que l'échappement est *à repos*. S'ils étaient remplacés par des lignes enveloppant ces arcs, l'échappement serait *à recul* : c'est-à-dire que l'action du pendule pendant l'arc supplémentaire ferait rétrograder la roue d'échappement.

Les parties essentielles de l'échappement sont donc ainsi déterminées, savoir : 1° l'épaisseur des becs déterminée par l'écartement des dents de la roue ; 2° le tracé du plan incliné ; 3° le tracé de l'arc de repos.

Hors ces points fondamentaux, tout le reste est arbitraire ; aussi voit-on varier à l'infini des dispositions fondées sur les mêmes principes, et non-seulement on peut modifier ainsi les formes générales, mais encore varier le tracé du fuyant en le plaçant sur les dents de la roue (fig. 3576) ; ou bien, ce qui se fait le plus souvent, les faire porter moitié aux dents, moitié aux becs.



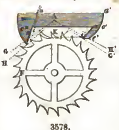
3576.

L'échappement à ancre proprement dit ne diffère de l'échappement de Graham, dont nous nous sommes occupés plus spécialement jusqu'ici, qu'en ce que son centre d'oscillation est beaucoup plus rapproché du centre de la roue. On l'exécute à repos et à recul.

La figure 3577 montre la première disposition ; la construction s'en fait suivant les principes déjà énoncés : l'obliquité du plan incliné se détermine en raison de l'angle d'oscillation supplémentaire ; la hauteur des becs par l'écartement des dents, et les courbes de repos sont des arcs de cercle décrits du centre d'oscillation de l'échappement pris pour centre.

3577.

La figure 3578 représente l'échappement à ancre à recul ; il est tracé de la même manière que le précédent, sauf que les arcs de repos sont remplacés par des courbes faisant un angle plus ou moins ouvert avec elles, suivant la quantité plus ou moins grande de recul qu'on veut donner à la roue pendant le parcours de l'arc supplémentaire.



3578.

C'est une question fort controversée en horlogerie que celle de la supériorité relative des échappements à repos et à recul. Quelques horlogers préfèrent encore ces derniers, surtout avec des pendules courts, pour l'horlogerie commune ; il se produit, par les résistances du recul, une espèce de compensation entre les variations de la force motrice et résistante ; aussi rencontre-t-on encore bien des échappements à recul dans l'horlogerie commune. Mais dans l'horlogerie de précision, pour l'exécution des horloges astronomiques surtout, on employent des pendules de poids et de longueur suffisants, les échappements à repos sont bien préférables. En faisant les palettes en pierre dure, de manière à diminuer les frottements pendant le repos et à les rendre indépendants de l'épaississement des huiles, on arrive à une régularité admirable.

L'excellence de l'échappement à repos résulte de ce que l'effort transmis par l'échappement étant petit, son action se faisant sans choc, une faible variation de la force motrice a très-peu d'effet pour changer la durée d'une oscillation du pendule, bien qu'elle modifie sensiblement l'étendue de cette oscillation.

Le frottement uniforme pendant le repos se produit d'un côté de la verticale comme s'il s'ajoutait à la gravité, et de l'autre, en sens inverse. Mais toujours le travail consommé tend à diminuer l'arc du pendule en raison de la valeur du frottement diminué par l'emploi de pierres dures.

Une diminution de force dans un échappement à repos tend à produire de l'avance en diminuant les oscillations, et l'effet est d'autant moindre que le pendule est plus long et plus lourd.

Il importe d'observer qu'il ne peut être que désavantageux d'augmenter la grandeur de la roue d'échappement en delà de ce qu'exige la force en proportion du nombre des dents, parce que sa masse, son inertie augmentant plus rapidement que ses dimensions, elle ne suit plus les becs de l'ancre assez vite. Dans les horloges astronomiques ou régulateurs, la roue d'échappement a généralement un diamètre de 2 à 3 centimètres. Dans les horloges de clocher, 10 à 12 centimètres suffisent parfaitement pour le diamètre d'une roue d'échappement de trente dents.

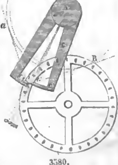

3579.

Échappement à ancre pour les montres. — L'échappement généralement employé aujourd'hui en Angleterre pour les montres est l'échappement à ancre disposé comme

le représente la figure 3579; c'est le balancier qui, agissant sur l'extrémité d'un levier, fait engager et dégager le bec de l'ancre, comme le fait le pendule dans les systèmes précédemment décrits.

A. Bréguet a employé cette disposition dans beaucoup de ses montres et de ses meilleures, mais en employant une ancre embrassant la roue, les palettes étant placées sur les deux tangentes, condition essentielle pour arrêter les décompositions de force et ne pas fatiguer les pivots.

Échappement à chevilles. — Nous parlerons maintenant d'un autre genre d'échappement à repos, dont la figure 3580 peut donner une idée. On voit que le mouvement régulier du pendule sert à arrêter successivement les chevilles équidistantes fixées sur la face de la roue d'échappement.



3580.

La seule différence importante qui distingue cet échappement de celui dont nous venons de parler, c'est que par la forme des dents de la roue, les becs qui les arrêtent se trouvent placés d'un même côté de celle-ci; cette disposition présente sur les autres l'avantage de ne pas agiter dans leurs trous les pivots de l'axe de l'échappement : aussi est-ce le système qui a le plus de durée pour les très-fortes horloges où les chevilles peuvent avoir de fortes dimensions.

La position des becs, le tracé des arcs de repos, des plans inclinés se déterminent comme dans le système précédent. Les chevilles, d'après leur forme même (elles sont demi-cylindriques), portant une partie du plan incliné, il faut dans la détermination de l'angle supplémentaire tenir compte du demi-diamètre des chevilles.

Lorsqu'on connaît le diamètre de la roue d'échappement et le nombre des chevilles, on a, par cela même, la hauteur des deux becs de l'échappement : car elle doit être égale à l'intervalle laissé entre deux chevilles, moins l'espace réservé entre eux pour laisser passage à ces mêmes chevilles, c'est-à-dire leur épaisseur.

Il est clair que le prolongement du fuyant du plus long bras, toujours placé à l'extérieur de la roue, comparé à celui du petit bras, passera à une distance du centre plus grande de la différence de longueur entre les deux bras.

Nous allons voir par ce qui suit que les deux bras, bien qu'inégaux, tracés pour produire un même angle de levée, donnent des impulsions parfaitement égales.

De la longueur des bras des échappements. Il importe de considérer ce qui résulte de la variation de longueur des bras des échappements, dimension qu'on fixe souvent sans motifs. Pour une même levée *l'impulsion est la même que pour des longueurs quelconques des bras de l'échappement, puisque l'arc décrit est le même.*

Ce qui varie avec la longueur des bras de l'échappement, ce sont des frottements (fig. 3581).

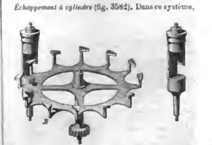
En effet, pour un même angle de levée, les angles des arcs supplémentaires sont sensiblement les mêmes; or, les arcs sont en proportion des rayons, et comme la pression de la roue d'échappement est constante, le travail du frottement croît donc sur les arcs supplémentaires proportionnellement à la longueur des bras. Pour les fuyants, il en est de même, puisque leur longueur est sensiblement proportionnelle à la longueur des bras. Par conséquent, afin de diminuer les frottements, on doit réduire autant que possible la longueur des bras des échappements, sans atteindre toutefois la limite où l'on rencontrerait d'autres inconvénients, tels que des fuyants trop rapides et avec lesquels la moindre usure, le moindre agrandissement des trous des pivots de l'échappement viendrait bientôt altérer très-sensiblement la durée des oscillations du pendule.

3581.

M. Wuilliamy, célèbre horloger anglais, a construit pour la grande horloge de Windsor un échappement à chevilles dans lequel les altérations qui peuvent résulter du contact des chevilles et des becs d'échappement sont habilement évitées.

Sachant que le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces, il a agrandi les plans inclinés de l'échappement et allongé les chevilles, et de plus, comme le moindre dérangement, la variabilité de dilatation des pièces suffit, dans le mode habituel de construction, pour être une cause d'usure, par suite de la moindre obliquité des surfaces en contact, au lieu de se contenter de garnir les chevilles de rouleaux, comme on le fait quelquefois pour ces grandes constructions, il a articulé les touches tant suivant un axe horizontal que perpendiculairement au plan de cette même touche. Comme elles sont ramenées en place par un ressort, il en résulte une très-grande douceur dans l'action de chaque cheville pour faire prendre à la touche l'inclinaison qu'elle réclame par un contact parfait.

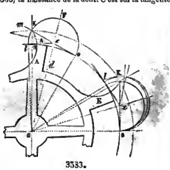
Échappement à cylindre (fig. 3582). Dans ce système,


3582.

le plus employé aujourd'hui pour les montres, la roue d'échappement est garnie de plans inclinés saillants à sa partie supérieure. Le balancier est porté par un arbre cylindrique, dont une portion est creusée et forme un demi-cylindre creux. La roue, en y entrant, se trouve arrêtée par suite de la rotation du balancier, qui amène la partie pleine du demi-cylindre vers l'extrémité de la dent qui y est entrée. Le retour du balancier la laisse sortir, et ainsi à chaque oscillation, aller et retour, une dent entre et sort avec la régularité qui résulte de la perfection du ressort spiral qui entoure l'axe du balancier.

Cet échappement est à repos, en ce sens que l'action de la roue d'échappement est suspendue pendant que la dent est engagée dans le cylindre, et tout à fait analogue à celui de Graham ou celui à ancre, et n'en est qu'un cas particulier, celui où on suppose les bras réduits à leur moindre développement n'embrassant qu'une seule dent entre leurs becs. Nous allons donc pouvoir le tracer à l'aide des mêmes principes, mais en ajoutant toutefois la condition de faire décrire au balancier les oscillations les plus étendues possibles. Celui-ci agissant comme volant, c'est en lui donnant la plus grande vitesse qu'on le rend plus insensible à tous les dérangements provenant de causes extérieures, condition essentielle pour des pièces qui ne doivent pas rester en place. Aussi certains constructeurs lui font-ils parcourir jusqu'à 350°, c'est-à-dire la circonférence entière.

Supposons 6 dents à la roue; chaque dent sera contenue dans un douzième de circonférence. Soit *o* (fig. 3583) la naissance de la dent. C'est sur la tangente



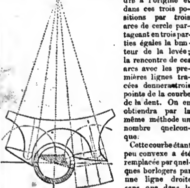
3583.

menée en ce point à la roue qu'il faut placer le centre de l'échappement; dans toute autre position, il y aura évidemment décomposition de forces autour des pivots du cylindre et fatigue pour ceux-ci. Cette tangente, terminée au rayon faisant avec *ao* un douzième de circonférence, est le diamètre du cylindre. L'action de l'inclinaison de la face de la dent, supposée terminée à la tangente *om*, sera évidemment de faire parcourir au cylindre l'arc *kl* (obtenu en prolongeant le cylindre jusqu'à la circonférence). Or, l'angle *mxl* (*xl* est une tangente au point *l*) est égal à *lao*, ces deux angles étant égaux à 180 degrés moins *lxo*, or *lao* est plus grand que *nao*; on peut donc prendre pour règle approchée pour la pratique, l'angle de levée d'un échappement à cylindre, la circonférence de la roue divisée par le double du nombre de dents qu'elle porte. Il est clair que l'arrondi des lèvres du cylindre doit être compté aussi bien que le plan incliné des dents. Cette portion d'arc varie de 5 à 10 degrés, suivant l'épaisseur des lèvres et l'arrondi plus ou moins prononcé. Pour augmenter l'angle de levée, il faut ou reculer en avant de la tangente le centre du cylindre, ce qui augmente les frottements sans accroître le travail de l'impulsion, ou ouvrir davantage le cylindre, ce qui diminue les oscillations.

Il faut remarquer que la levée déterminée d'après ce qui précède correspond à un arc plus grand que celui pendant lequel l'impulsion a réellement lieu. En effet, au moment où le fuyant d'une des dents pourrait commencer à agir, le cylindre a acquis par l'action du ressort spiral à peu près sa plus grande vitesse de mouvement; la roue, au contraire, passe, dans le même moment, de l'état de repos à celui de mouvement; elle a donc moins de vitesse que dans le cours de la levée. La dent ne peut donc atteindre la lèvre du cylindre, qui fuit devant elle en ce moment, par suite de l'excès de vitesse, qu'après avoir parcouru quelques degrés en avant. On doit donc ne pas rendre la levée trop faible pour que la partie ainsi perdue ne soit pas une fraction considérable de l'impulsion totale, et surtout construire la roue aussi légère que possible pour en diminuer l'inertie.

Courbe des dents. — La courbe des dents se trace d'après la condition que la rotation de la roue soit proportionnelle à celle du cylindre, afin de communiquer une impulsion constante pendant la durée de la levée : la résistance qu'oppose le cylindre étant supposée constante.

Divisons l'arc sous-tendu par la dent en trois parties égales (fig. 3584) et traçons les positions de la lèvre antérieure du cylindre à l'origine et dans ces trois positions par trois arcs de cercle partageant en trois parties égales la hauteur de la levée; la rencontre de ces arcs avec les premières lignes tracées donnera trois points de la courbe de la dent. On en obtiendra par la même méthode un nombre quelconque.

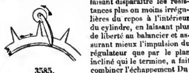


3584.

Cette courbe étant peu convexe a été remplacée par quelques horlogers par une ligne droite sans que dans la pratique il en résulte une différence sensible; ce qui s'explique suffisamment par la petitesse des organes. Toutefois, par ce tracé, l'impulsion est irrégulière et la convexité devrait être assez rapidement croissante près de l'origine, parce que le balancier fuit en ce moment devant la dent de la roue qui, malgré sa légèreté, met quelque peu de temps à se mettre en mouvement.

L'échappement à cylindre, construit de substances très-dures (le cylindre en pierre fine, la roue en acier) pour que les surfaces conservent leur poli, fonctionne très-bien et fournit l'avantage de permettre d'obtenir des montres de forme très-élégante et très-plates, les deux axes de la roue et du balancier étant parallèles et pouvant être montés par suite sur un même plan.

Échappement Duplex. — Le désir d'obtenir la majeure partie des avantages de l'échappement à cylindre en faisant disparaître les résistances plus ou moins irrégulières du repos à l'intérieur du cylindre, en laissant plus de liberté au balancier et assurant mieux l'impulsion du régulateur que par le plan incliné qui le termine, a fait combiner l'échappement Duplex, dont on s'était longtemps exagéré les avantages.



3585.

La figure 3585 en présente un fragment; ses

dents sont taillées en rochet ou en étoile, mais très-longues et fortement espacées. Cet écartement d'une dent à l'autre est nécessaire, afin que, dans le milieu de cet espace, on puisse chasser une cheville dans le champ de la roue, perpendiculairement à sa surface. Ces chevilles sont implantées sur un cercle concentrique à cette roue, afin qu'elles se trouvent toujours à la même distance de l'axe du balancier.

L'axe du balancier porte un cylindre, qui est ordinairement un rubis, ayant une petite entaille, dans laquelle viennent se loger les pointes des longues dents en étoile de la roue. Au-dessus de ce rouleau est portée par le même axe du balancier une grande levée, qui arrive jusqu'aux chevilles, formées par la roue de champ qui fait corps avec la roue à étoile. Voici comment fonctionne cet échappement : il faut d'abord concevoir que la roue marche dans le sens qu'indique la flèche. La figure montre la dent, engagée dans l'entaille du rouleau; en même temps, la levée est remontée par la cheville, qui la pousse en arrière et imprime la vibration au balancier armé de son spiral; la dent sort aussitôt de l'entaille, et vient s'appuyer sur le rouleau; le balancier achève sa vibration, et le spiral le ramène ensuite jusqu'à ce que la petite entaille se présente devant cette dent; elle s'y engage. En même temps, la levée se présente devant la cheville, et elle pousse le balancier en agissant sur la levée, comme dans le premier cas. L'arc de levée est ici de 60 degrés. On voit que cet échappement 1° est à repos; 2° que le repos se fait sur le rouleau, du côté gauche; 3° que le balancier ne reçoit qu'une impulsion par chaque deux vibrations, ce que les horlogers appellent coup perdu.

Au lieu de chevilles rapportées, on emploie aujourd'hui un mode de construction qui donne bien plus de précision et de solidité, si elle ne peut être exécutée avec les outils les plus simples. Une couronne saillante sur le champ de la roue est réservée au tour et celle-ci



3586.

divisée en dents également espacées avec la machine à refendre, comme le montre la figure 3586.

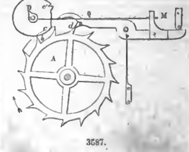
3° *Échappements libres.*

Échappement des chronomètres. — Dans les divers systèmes que nous avons passés en revue, la communication constante qui existe entre le rouage et le régulateur fait toujours participer celui-ci aux variations de la force motrice, par la variation qui en résulte dans les frottements et les résistances. L'isochronisme des oscillations du régulateur s'en trouve donc altéré, et pourtant c'est sur cet isochronisme que repose surtout la précision de la marche de l'appareil. Et si, pour les horloges, l'échappement à repos se trouve bien suffisant avec la régularité d'action des poids moteurs et de lourds pendules, il n'en est pas de même pour les appareils à ressort. Il était donc important de chercher un système d'échappement dans lequel le rouage et le régulateur fussent rendus indépendants, c'est l'échappement libre.

Cet échappement est à repos, mais ce repos diffère de celui des échappements précédents en ce que la roue, pendant le repos, ne touche ni ne s'appuie sur aucune partie mue par le régulateur. Elle est arrêtée par une pièce distincte de celui-ci, fixée aux parties fixes, de telle sorte que le régulateur achève sa vibration indépendamment de l'échappement.

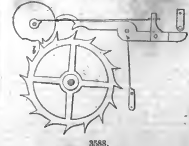
Voici comment il agit : le balancier, en faisant mouvoir l'axe auquel est fixée une petite saillie qui rencontre par-dessous un long ressort très-flexible, fait lever cet arrêt qui suspend le mouvement de la roue; quand il rencontre le ressort par-dessus, il ne fait que courber ce ressort, qui est très-fin, afin de s'ouvrir un passage pour terminer son oscillation.

La roue tourne d'une dent à chaque double vibration, et n'est en rapport avec le balancier que pendant qu'il décrit un arc peu étendu.



3587.

Les fig. 3587 et 3588, qui représentent les positions



3588.

de l'échappement pendant le repos et quand le mouvement a lieu, font bien voir comment les actions se succèdent.

Le ressort doit être très-flexible, puisqu'à chaque double vibration la dent D le rencontre deux fois, autrement il arrêterait, d'une manière sensible, le mouvement du balancier, et le spiral doit être fort; aussi se fait-il en spirale cylindrique dans les chronomètres. Par la même raison, la dent D doit être peu éloignée du centre B, pour que l'élasticité du ressort agisse sur l'axe par un bras de levier moins long et tende moins à nuire à ses vibrations. Si cependant elle était trop rapprochée de l'axe B, elle n'éprouverait, dans son mouvement, qu'un trop petit déplacement et ne dégagerait pas assez le ressort et la dent R pour produire sûrement la chute de l'arrêt d. Il faut donc adopter, par expérience, des proportions convenables.

Les deux circonférences A et B doivent se couper un peu; on fait le rayon de B moitié environ du rayon de A. Enfin la dent d'arrêt R est placée au point de contact de la tangente menée du centre de rotation de la pièce d'arrêt à la roue A, et le rubis ou talon d'ar-

rêt *k* doit être incliné pour la sûreté de repos de la dent et le ressort MQ à peu près parallèle à la tangente menée par le centre de l'axe du balancier, pour que le dégagement de l'arrêt ait lieu sans presser sur la dent de la roue dans la direction de celle-ci.

Si les mouvements du balancier sont très-rapides, l'échancrure, et par suite la saillie *c'*, passe rapidement devant la roue d'échappement, et la dent *b* n'a pas le temps de l'atteindre. Il n'y aura donc pas d'impulsion, le mouvement du balancier ira alors en se ralentissant jusqu'à ce que la saillie *c'* passe assez lentement pour être choquée par la dent *b*; le moteur répare alors la force perdue à chaque double oscillation, et l'amplitude des oscillations du balancier devient constante.

On peut, avec grand avantage, faire parcourir au balancier de très-grands arcs, de 360°. On lui fait faire, en général, deux vibrations par seconde; la roue d'échappement, qui ne porte que 12 à 15 dents, marchant alors trop vite pour porter l'aiguille des secondes, on la monte sur l'axe d'une autre roue menée par la première.

Les chronomètres à échappement libre ont l'inconvénient de ne pas partir seuls quand on les monte, comme cela a lieu avec les autres échappements, tout l'effort se portant sur la dent R, qui résiste directement. Il faut, pour déterminer le mouvement, leur imprimer un mouvement rapide de rotation qui ébranle le balancier et la dent D et la fait, par suite, agir sur le ressort MQ.

La régularité que l'on parvient à obtenir à l'aide de l'échappement libre est vraiment admirable et s'explique aisément. En effet, l'isochronisme du spiral que rien ne vient altérer, puisqu'il se meut en liberté, est la base de cette précision. La variation de la force motrice, que l'on a soin de rendre le moindre possible, vient bien faire varier quelque peu l'effort nécessaire pour soulever l'arrêt; mais l'impulsion que reçoit le balancier croît aussi par suite du petit retard que cause l'accroissement de la résistance, d'où peut résulter une compensation parfaite.

Un motif de plus de l'excellence de l'échappement libre dit échappement d'Arnold, qu'il importe de signaler, c'est que, outre la liberté qu'il possède après l'impulsion donnée, il n'a pas besoin d'huile aux parties frottantes, surtout quand elles sont garnies de rubis d'Orient ou de saphirs, et quand ces pierres dures sont travaillées par d'habiles artistes qui n'y laissent subsister ni angles vifs, ni aucune aspérité. La liberté des oscillations du spiral, la douceur qui résulte de l'élasticité des ressorts, aident encore à l'excellence des résultats que fournit son ingénieuse combinaison. Toutefois il importe de bien se rendre compte de toutes les causes d'imperfection que peut présenter la pratique, et pour cela nous laisserons la parole au maître.

Quelques observations sur les échappements libres par A. Breguet.

De toutes les communications de force d'un mobile à l'autre, la plus mauvaise, la plus destructible et celle cependant dont la pureté d'action est la plus importante, est celle transmise au régulateur pour réparer ses pertes. La raison de cette défectuosité insurmontable provient de ce que le plan incliné faisant partie du régulateur qui doit recevoir l'impulsion, étant toujours en oscillation, la dent de la roue qui l'attaque doit le frapper avant et après le centre (le point de tangence de la roue), 30° avant et 30° après environ, pour avoir 60° d'action, étendue nécessaire pour ne pas être exposé à voir le mouvement s'arrêter, et cependant ne pas prendre trop d'étendue pour courir la chance d'un renversement par suite de mouvements étrangers. La chute de l'impulsion de la roue d'échappement, sa traînée avant le centre que jusqu'à présent on n'a pu éviter, sont des causes de variation toujours existantes, qui donnent des résultats variables en raison de causes tellement insaisissables, qu'ils semblent dus au hasard. Car pour dix échappements construits de manière à obtenir l'identité la plus absolue, entre lesquels on ne pourra découvrir la moindre différence, il y aura dix contacts différents, tant pour le rappel de la force motrice que pour l'impulsion, les surfaces de contact qui se pénètrent auront plus ou moins d'adhésion; enfin il en est qui se détruisent. Il est facile de juger combien l'altération des surfaces, de la partie par l'intermédiaire de laquelle se transmet la force, produit de changement dans un garde-temps bien réglé. J'ai souvent fait pour le démontrer l'expérience suivante :

Si avec une petite pointe de bois imbibée d'huile de bonne qualité, on touche les dents d'une roue d'échappement à la partie qui agit sur la levée du régulateur, et qu'on la passe aussi sur le doigt de détente qui rappelle la force motrice, on obtient en général un changement de 7, 8, 10 secondes en 24 heures, et beaucoup davantage si les parties agissantes sont un peu dégradées.

L'échappement libre, qui est reconnu le meilleur avec raison pour les garde-temps, a pourtant encore beaucoup de défauts qui engendrent des anomalies continuelles, dont heureusement il en est qui s'entre-détruisent en partie, mais d'une manière très-variable.

On vient de voir les vices de l'impulsion sur la levée; nous allons voir ceux du rappel. On sait que dans tout échappement libre, après l'impulsion donnée, la roue va prendre son repos contre une pièce mobile qui s'y est placée pendant que la roue était en action sur la levée du régulateur. Cette roue, une fois en repos, ne peut se mettre en mouvement qu'autant qu'un corps en mouvement déplace cette pièce mobile, et comme il n'y a de pièce en mouvement que le régulateur, il faut que ce soit lui qui déplace la pièce mobile qui tient la roue en repos. Pour que le mouvement du régulateur n'éprouvât pas de variation de ce fait, il faudrait que la résistance de cette pièce mobile demeurât toujours la même. Mais la roue presse dessus inégalement à cause de la variation de la force motrice, des frottements des rouages, de la nature des parties qui se touchent et qui ont besoin de graisse. Si cette pièce mobile est un double ressort, il se trouve deux points d'appui qu'il faut détacher. Ces ressorts ont une résistance élastique suffisamment constante, mais l'adhésion des points d'appui ne l'est nullement; il s'en faut souvent de beaucoup, et ce qu'il y a de remarquable, c'est que l'usure est toujours sur les points d'appui sur lesquels ils tombent toujours avec une certaine vitesse, en produisant un ébranlement toujours à la même place. Au premier choc du rappel, il y a toujours une résistance d'inertie qui ébranle en raison du plus ou moins de vitesse du régulateur, c'est-à-dire en raison du plus ou moins d'étendue de ses arcs et aussi du plus ou moins de pression de la roue sur les repos et d'adhésion de la dent sur ledit repos.

Une foule d'anomalies naissent de tout ce jeu de transmission de la réparation sur ce régulateur qui devrait rester intact et viennent troubler les effets si simples, si parfaits que donne le régulateur isolé. Combien ai-je fait d'efforts pour perfectionner cette communication !

Cette analyse si délicate fait apprécier toutes les causes d'altération que le constructeur doit étudier avec soin pour éviter les causes d'usure par la régularité de l'exécution, la qualité des substances employées, la légèreté des mobiles, la parfaite élasticité des ressorts, en un mot une parfaite entente de la mécanique

physique, une connaissance parfaite des corps dans son application à l'horlogerie.

Remontoirs d'égalité et échappements à remontoirs. — Nous avons déjà dit que les remontoirs d'égalité des horloges consistaient à employer le moteur principal à remonter périodiquement un poids constant qui devient seul moteur pour la durée d'un certain nombre d'oscillations du pendule. C'est sous cette forme qu'il avait été conçu par Leibnitz. Huyghens tenta de le réaliser en appliquant la force motrice directement à l'échappement au moyen d'un très-petit poids dont la soie était enroulée sur l'axe de la roue d'échappement, et comme les révolutions fréquentes de ce mobile dévidaient la soie très-rapidement, il donna à celle-ci la disposition d'une corde sans fin qu'il fit remonter à chaque demi-minute par le reste du rouage disposé en conséquence.

Ce genre de dispositions inspirées surtout par les imperfections de la taille des engrenages à l'époque de Huyghens n'a plus aujourd'hui le même intérêt, et cependant ils exercent encore chaque jour l'esprit d'inventeurs pour lesquels une combinaison parfaite du remontoir paraît une espèce de pierre philosophale.

Il serait impossible, en se renfermant dans des limites raisonnables, de décrire les diverses inventions applicables tant aux horloges qu'aux chronomètres. Pour ces derniers, ils ont toujours jusqu'ici complétement échoué, et il semble qu'il doit en être toujours ainsi, non-seulement à cause de l'extrême difficulté que présente leur construction sur une si petite échelle, mais parce que le rouage d'un chronomètre est si léger que la moindre complication de mécanisme entraîne des accroissements de frottement, d'usure, de résistances passives plus préjudiciables que la minime variation de la force qui pousse le ressort d'arrêt contre la roue d'échappement.

Aujourd'hui ce n'est que dans les grandes horloges que l'on rencontre des remontoirs, et que la grandeur des résistances intérieures du mécanisme peut en rendre l'action avantageuse pour obtenir une régularité satisfaisante.

Remontoirs d'égalité pour horloges. — C'est essentiellement en poids pouvant être relevés par une action d'étendue limitée, que consistent les remontoirs d'égalité.

Les deux principales dispositions, toutes deux d'ordre différentiel (Voir DIFFÉRENTIEL), en ce sens que les roues qui mettent le poids en mouvement ont la faculté de tourner autour d'une autre roue, se rapportent aux deux systèmes de rouages différentiels indiqués à l'article cité fig. 7 et 8.

Dans le premier cas, le poids remontoir adapté au levier est remonté d'une manière continue par une roue engrenant avec la roue du centre; mais cet effet ne peut avoir lieu qu'autant que la roue satellite s'appuie sur les dents de la roue d'échappement, c'est-à-dire que le poids agit seul sur l'échappement et par suite sur le régulateur.

Lepaute a adopté cette disposition pour les remontoirs de plusieurs de ses horloges publiques, mais il ne fait remonter le poids qu'après le passage d'un certain nombre de dents, et il régularise l'élévation du poids par l'intervention d'une résistance accessoire d'autant plus grande que le déroulement du ressort moteur est plus rapide. Le volant à ailettes satisfait à ces conditions.

Dans le deuxième système, on emploie une roue satellite placée entre deux roues parallèles.

La roue pesante montée librement sur l'axe tend à s'élever constamment par l'action d'une des grandes roues appartenant à l'horloge et à descendre en s'appuyant sur la roue parallèle en communication avec la roue d'échappement. Elle roule donc alternativement dans un sens et dans l'autre pour chaque dent de la roue d'échappement qui cesse d'agir, et celui-ci comme le pendule ne sont actionnés que par le poids du remontoir, c'est-à-dire d'une manière constante, pourvu que sa position moyenne ne varie pas.

S'il en est ainsi, des variations notables de la force qui conduit la roue motrice, ou de la résistance à surmonter, n'auront aucune influence sur la roue d'échappement et par suite sur le mouvement de l'horloge.

Reste à faire que la position de la roue reste constante, ce qui revient à détruire les excédants du travail moteur que l'on ne saurait faire disparaître complétement dans les grandes horloges où des résistances variables assez importantes peuvent se produire accidentellement par l'action du vent, par exemple, sur des aiguilles de grande dimension. C'est à quoi M. Wagner parvient par l'introduction de la résistance de l'air employé d'une manière nouvelle, par un système de modérateur particulier. A cet effet la roue satellite porte une espèce de cloche en forme de cylindre, suspendue à la cage du rouage satellite et destinée à recouvrir un petit ventilateur remplaçant le volant modérateur ordinaire; le petit ventilateur, mû par le rouage principal, tourne d'un mouvement continu, à la différence du volant ordinaire qui ne se meut que périodiquement après chaque dégagement. La vitesse du petit ventilateur est influencée par la position de la cloche et peut varier dans de grandes limites. Quand il est complétement recouvert et comme étouffé sous la cloche, il acquiert son maximum d'accélération; à mesure que la cloche le découvre, il se ralentit : il doit en être ainsi, puisque le travail du ventilateur est proportionnel à la masse d'air mise par lui en mouvement; dans le premier cas, il tourne rapidement dans une masse d'air qui ne change pas et à laquelle il a bientôt communiqué sa vitesse, tandis que, dans le second cas, il fonctionne dans un air sans cesse renouvelé par l'effet de la force centrifuge, qui exige de sa part un effort continu. La vitesse du ventilateur dépend donc de la position de la cloche par rapport à lui; or, nous avons dit que c'était le poids de la cloche suspendue à la cage du rouage satellite qui entretenait les vibrations du pendule; la cloche tendrait à s'abaisser à chaque oscillation, si le corps du rouage principal, qui se déroule en même temps que l'échappement fonctionne, ne la relevait incessamment en agissant de son côté sur le rouage intermédiaire qui la porte; il l'aurait bientôt relevée au delà du nécessaire pour compenser l'abaissement produit par les oscillations du pendule, si l'élévation de la cloche ne produisait pas immédiatement le ralentissement du ventilateur modérateur du déroulage du rouage principal; le ventilateur, en passant par toutes les vitesses qui dépendent de la position de la cloche, établit une si parfaite compensation entre son abaissement par le fait de l'échappement et son soulèvement opéré par le déroulage du gros rouage, moteur principal, que la cloche finit par entretenir, bien réellement par son poids, les oscillations du pendule en restant pourtant elle-même stationnaire.

Les changements de vitesse apportés dans le déroulage du rouage principal par les résistances variables, telle que menée d'aiguilles à grande distance, ou de grandes dimensions et exposées au vent, levée des marteaux de sonnerie, etc., ne peuvent modifier que pendant un temps fort court ce curieux état normal, puisqu'il tend sans cesse à se rétablir.

Remontoir à ressort. — M. Airy, le célèbre astronome anglais, a proposé un système de remontoir fort ingénieux. Pour prévenir les inégalités du rouage qui modifient l'impulsion communiquée au pendule, il emploie deux roues d'échappement, l'une servant pour l'arrêt et l'autre pour l'impulsion. La roue d'arrêt est

celle qui fait partie du rouage, et la roue d'impulsion se meut sur le même arbre, montée sur un canon et réunie à l'autre par un ressort spiral.

Les palettes de la première, ne portant pas de plan incliné, abandonnent l'ancre qui rencontre alors la seconde, et l'impulsion est communiquée en raison de la roideur du ressort. L'avantage de cet échappement, c'est que l'impulsion est constante, ou du moins n'a pas de plus grande variation que celle de la force du ressort, variation provenant des changements de température, et qui est plus faible que les variations causées par le frottement du rouage; avec cet inconvénient, cependant, qui n'est pas sans importance, que la roue d'impulsion tourne avec plus de frottement, puisqu'elle se meut sur l'arbre de l'autre roue, que si elle tournait sur des pivots comme d'ordinaire. De plus le frottement de repos pour la même pendule est plus grand qu'avec la disposition ordinaire.

Cet accroissement de frottement contre-balance les avantages de cette disposition au point d'avoir empêché l'adoption de ce système. Il est absolument nécessaire pour un régulateur astronomique que le mécanisme en soit le plus simple possible. — Tel qu'il est maintenant, il sera difficilement dépassé.

Montres. — Les observations sur les inconvénients de compliquer le mécanisme s'appliquent entièrement aux montres et il n'y a pas à songer à y appliquer de remontoir d'égalité. Tout au plus une semblable construction est-elle admissible pour les pendules, et nous citerons à ce sujet la disposition suivante appliquée aux pendules de voyage.

Pendules. — Cette disposition est due à M. Boussard et combinée en vue d'améliorer les pendules de voyage, charmants petits appareils à échappement libre dont le goût de la précision assure heureusement le succès. Il transforme les deux barillets de même puissance qui garnissent ordinairement les mouvements du commerce en deux barillets de puissance très-différente. Ainsi l'un de ces barillets est très-fort; le deuxième barillet, au contraire, est réduit aux dimensions du barillet d'une grosse montre et devient le remontoir; il est placé en porte à faux sur le prolongement de l'axe du premier mobile de la sonnerie, qui est en communication directe avec la denture du gros barillet. Le petit barillet n'a mission que de mouvoir les aiguilles, tandis que le gros doit, d'une part, actionner la sonnerie, et, d'autre part, remonter le petit barillet chaque fois que la sonnerie fonctionne. Dans ce mécanisme, la constance des efforts, envisagée par période de douze heures, est absolue, et l'uniformité et la régularité des pressions sont circonscrites dans moins d'un douzième du développement d'un ressort, qui donne de bons résultats dans une montre où il se développe des six tours entiers.

Ce résultat d'un remontage limité a été obtenu par un mécanisme très-simple, qui consiste à rendre à volonté l'axe du petit barillet indépendant de la bande ou noix d'arrêtage. Cette noix d'arrêtage porte d'un côté le rochet de retenue, et de l'autre le petit déclic qui isole le ressort dès qu'on veut lui faire dépasser le point déterminé auquel il doit fonctionner; en sorte que, quoi qu'on fasse extérieurement, le ressort du mouvement est toujours tendu au même point et fonctionne dans les mêmes limites de développement

Observations sur les remontoirs. — Tous les systèmes décrits ci-dessus ne sont pas théoriquement, absolument parlant, des remontoirs parfaits, c'est-à-dire que l'action du moteur principal sur l'échappement et le régulateur ne disparaît pas complétement, et leur analyse détaillée montrerait que de notables variations de la force motrice s'y font sentir. Cela n'a pas d'importance dans la pratique pour les appareils de précision, puisqu'au contraire, la régularité de force motrice qu'il est possible d'obtenir est assez grande pour rendre inutile le remontoir. Malgré cela, théoriquement parlant, la combinaison d'un remontoir plus parfait est fort curieuse. Nous ne pouvons toutefois que citer ici les systèmes de remontoir partant de l'échappement et surtout ceux de A. Bréguet, et la combinaison de boules et de fils imaginée par M. Vérité, de Beauvais, qu'on ne peut considérer comme devant fréquemment être appliquée dans la pratique, mais qui est néanmoins fort intéressante en théorie.

§ IV. ROUAGES.

Rouages. — Ayant étudié les moyens de faire agir des forces motrices constantes à l'origine des mouvements d'horlogerie; ayant déterminé d'autre part les appareils régulateurs qui ayant un mouvement propre, uniforme, sont propres à assurer l'écoulement régulier de cette force constante, à l'aide des échappements, premier organe du système de mouvements circulaires, nous avons à étudier en détail le mécanisme proprement dit des horloges, les rouages, les systèmes de roues dentées qui communiquent le mouvement du point où est appliquée la force motrice à celui où agit le régulateur formant arrêt momentané, et font indiquer par des aiguilles, sur des cadrans, des nombres de divisions proportionnels aux nombres d'oscillations du régulateur, partie du mécanisme qui porte le nom de minuterie.

Cette partie du mécanisme des horloges a reçu de grandes améliorations depuis un siècle, grâce aux travaux des géomètres modernes, de Labire, Camus, Ollivier, qui ont créé la théorie des engrenages jusque-là inconnue ou réduite à quelques principes pratiques tout à fait insuffisants. On en a donné le résumé à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE de cet ouvrage. Nous n'avons pas à y revenir ici comme il nous faudrait le faire pour un ouvrage où l'on voudrait réunir les théories spéciales sur lesquelles repose l'art de l'horlogerie; les principes scientifiques de cette théorie doivent être étudiés avec le plus grand soin parce que non-seulement ils permettent la précision absolue, dans les cas où elle doit être appliquée, mais aussi parce que, quand cela n'est pas rigoureusement nécessaire à cause de la petitesse des organes, ils donnent le moyen de s'en approcher par des simplifications techniques convenablement dirigées.

Du mouvement circulaire. — Remarquons d'abord que les rouages dont nous allons parler, comme les appareils adoptés pour communiquer le travail moteur, appartiennent tous au système tour, sont tous des cylindres maintenus dans leur rotation par des coussinets dans les grosses roues des horloges, par des pivots dans les appareils de moindre dimension. Les premières notions de mécanique indiquent que ce genre de mouvement ne cause par les frottements qu'une destruction de travail extrêmement faible, celui-ci étant égal à fPl, f coefficient de frottement pour les substances en contact (réduit avec des huiles à 0,05 pour laiton et acier, de 0,25 à sec), P la pression, l le chemin parcouru. Or ce dernier facteur égal au chemin parcouru par le mobile, dans un mouvement en ligne droite, est diminué dans une proportion énorme relativement au chemin parcouru par un tour de roue, puisqu'il ne représente plus que la petite circonférence du coussinet, est réduit à $fP\frac{r}{R}$, si $R = l$, et plus encore pour les pivots. Disons de suite que les pivots dont le diamètre ne dépasse pas deux ou trois dixièmes de millimètre le plus souvent doivent être faits de l'acier le plus fin, trempé le plus dur possible et montés sur trous et plaques en rubis. L'huile est amenée par la capillarité entre la plaque et le trou, et l'air n'y peut avoir accès.

Rapport de vitesse constant. — Mais c'est moins encore la diminution des résistances qui importe dans un mouvement d'horlogerie, que la constance des résistances, et rien n'influe plus sur sa régularité que la non-variation des vitesses des divers éléments qui entrent dans sa composition. Sans parler des cas de chocs intérieurs à la prise des dents, qui causent des vibrations, des pertes de forces vives destructives pour tout mécanisme toute variation de vitesse et par suite de pression occasionne des effets d'inertie d'où résultent des consommations irrégulières de travail moteur, d'où accroissement de proche en proche des variations de pression, usure, et destruction des pièces. C'est ce qui arrive surtout bien sensiblement aux grosses horloges dont les roues, étant généralement jusque dans ces dernières années très-imparfaitement taillées, ont rendu nécessaires, malgré la régularité d'effort de la force motrice, des combinaisons de remontoir d'égalité. On doit donc poser, comme condition essentielle de la perfection des rouages, la constance de rapport des vitesses entre les roues, point de départ de la théorie des engrenages.

Inutile d'ailleurs de parler de la condition essentielle des engrenages, de leur propriété d'assurer des mouvements relatifs angulaires, sans possibilité de glissement, c'est-à-dire l'impossibilité de l'emploi de rouleaux, courroies, etc., dans les appareils d'horlogerie pour les remplacer, systèmes qui, pouvant permettre des glissements, sont tout à fait impropres dans ce cas, la certitude d'entraînement rendant les engrenages à dents tout à fait supérieurs à toute autre disposition.

Des engrenages. — Nous rappellerons ici en quelques mots les principes généraux des engrenages, seulement pour avoir l'occasion de passer en revue les questions relatives à leur application spéciale à l'horlogerie, n'ayant pas à revenir sur la théorie générale exposée ailleurs.

Deux axes parallèles étant donnés, si on divise la distance qui les sépare en deux parties qui soient en raison inverse de la vitesse angulaire que doivent posséder ces deux axes, des circonférences de cercles décrites avec ces parties pour rayons conduiront, en se déroulant l'une sur l'autre, les deux axes dans le rapport de vitesse voulue.

Pour que cette conduite ait lieu avec toute sécurité, sans possibilité de glissement, on garnit un des cercles de saillies qui s'engagent dans des cavités pratiquées dans l'autre. A l'aide de ce système qui constitue l'engrenage les mouvements des deux axes deviennent entièrement solidaires l'un de l'autre.

Pour que le mouvement ait lieu entre des roues d'engrenage munies de dents, comme si les circonférences dites primitives dont nous venons de parler se conduisaient par contact, il faut :

1° Que le courbe d'une des dents et la concavité correspondante sur l'autre roue soient engendrées par le roulement d'une même courbe sur les deux circonférences primitives, intérieurement sur l'une, extérieurement sur l'autre.

Cette courbe, étant le cercle d'un diamètre égal au rayon du plus petit cercle, engendrera, pour la concavité de la roue conduite, le flanc du pignon, un rayon du cercle, et pour la saillie de la roue menante des parties d'épicycloïde.

2° Que les dents soient également espacées, laissant entre elles libres des intervalles correspondant aux saillies de l'autre roue, ce qui fait que l'intervalle D, composé d'une dent et d'un vide, est le même sur chaque roue; par suite R et R' étant les rayons des circonférences primitives, ω, ω', les vitesses angulaires, n, n', les nombres des dents des roues, comme : $\frac{R}{R'} = \frac{\omega'}{\omega}$, comme $2\pi R = nD$, $2\pi R' = n'D$, on a donc aussi $\frac{\omega'}{\omega} = \frac{R}{R'} = \frac{n}{n'}$.

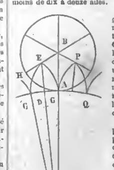
Dans la plupart des mécanismes dans lesquels les roues d'engrenage sont employées à transmettre des forces considérables, chaque roue est destinée tantôt à conduire, tantôt à être conduite, ce qui nécessite d'adapter à chaque roue des dents et des flancs.

Dans l'horlogerie, ce sont toujours les roues qui conduisent les pignons et toujours dans le sens de la progression des aiguilles. On doit arrondir avec soin les extrémités des dents des pignons pour supprimer tout angle qui pourrait opérer comme tranchant et altérer les surfaces de frottement.

L'aile du pignon grandit à mesure que le nombre des ailes diminue pour une roue d'un même nombre de dents, et par suite elle ne peut rester en prise sans choc qu'autant que cette prise commence beaucoup avant la ligne des centres.

Bien que l'exécution presque mathématique des dents qu'on obtient aujourd'hui avec les bonnes machines à diviser ait beaucoup diminué les arcs-boutements, les grippements qui peuvent se produire avant la ligne des centres (lorsque les faces élémentaires entre lesquelles se produit l'impulsion marchent l'une vers l'autre en formant des angles aigus, au lieu de s'éloigner en formant des angles obtus), il est toujours avantageux en horlogerie de donner très-peu d'étendue au contact avant la ligne des centres en donnant aux pignons un nombre d'ailes suffisant.

Mais, d'un autre côté, c'est en donnant aux pignons un petit nombre de dents relativement à celui des roues qu'on est parvenu à diminuer le nombre des roues; il faut atteindre une limite convenable, sans accepter, comme dans les anciennes constructions, des nombres d'ailes de pignons trop petits pour que la conduite puisse être régulière. Les pignons de six et même cinq ailes employés autrefois sont, à juste titre, repoussés aujourd'hui, et l'on n'admet pas avec raison, pour les constructions soignées, de pignons ayant moins de dix à douze ailes.



3589.

Nombre d'ailes des pignons. — Nous rapporterons ici la démonstration très-simple donnée par Camus, relativement à l'imperfection du pignon de sept ailes, conduit par une roue de 50 dents, pour montrer que la conduite ne peut avoir lieu uniformément, la poussée n'ayant lieu qu'après la ligne des centres.

Pour que les ailes du pignon de sept ne soient poussées qu'après la ligne des centres, il faut que la dent CEG (fig. 3589) conduise l'aile HB jusqu'à ce que l'aile suivante AB soit arrivée dans la ligne BF des centres, pour être conduite à son tour après cette ligne; et comme dans le pignon de sept ailes, l'angle ABH compris entre deux flancs est de 51° 23' 43", lorsque la dent CEG quittera l'aile HB, l'angle FBH sera le même, l'épaisseur de l'aile

étant supposée réduite à une ligne mathématique.

En supposant que le rayon primitif AB du pignon de sept ailes soit divisé en sept parties, et résolvant le triangle ABE rectangle en E, on trouvera BE égal à 4 parties plus 0,364.

Le rayon primitif de la roue de cinquante dents sera de cinquante parties, et la distance AF des deux centres sera de cinquante-sept parties. Donc on connaîtra, dans le triangle EBF, les deux côtés BE et BF et l'angle EBF qu'ils renferment; et résolvant ce triangle, on trouvera l'angle EFB de 3° 35' 50'' à très peu près.

La roue étant supposée de 50 dents, l'angle BFC ou AFC qui doit former le plein et le vide d'une dent sera de 7° 12', et les épicycloïdes AE, EC étant semblables, égales et semblablement placées par rapport à EF (elles ne le seraient pas que la limite changerait peu, l'allongement de la dent qu'on emploierait pour faire conduire plus loin l'aile par la dent, empêcherait bientôt celle-ci d'entrer entre les ailes), la moitié de cet angle sera 3° 36', c'est-à-dire plus grand de 10'' que celui trouvé. Il y a donc impossibilité de faire mener régulièrement un pignon de sept ailes par une roue de cinquante dents, quand même on réduit fictivement l'épaisseur de cette aile à celle d'une ligne mathématique.

Ceci, démontré pour une roue de cinquante dents, s'applique à plus forte raison aux roues d'un moindre nombre de dents. D'autre part, la différence notable trouvée ci-dessus décroît si lentement quand on fait croître le nombre des dents de la roue, ce qui n'influe que sur la convexité des épicycloïdes, qu'il est évident qu'on ne saurait trouver la différence signalée plus l'épaisseur nécessaire pour l'exécution d'un pignon.

On doit donc conclure que l'on ne peut faire mener un pignon de sept par une roue sans faire pousser ses ailes en partie avant la ligne des centres, et par suite, sans perdre les avantages de la menée après ce point qui supprime tout danger d'arc-boutement et de grippement.

Inutile de dire que ce qui précède s'applique à plus forte raison au pignon de six dents quelquefois employé.

Camus, répétant le même genre de calcul pour des pignons de huit et neuf ailes, conclut qu'il est impossible de donner à celles-ci une épaisseur convenable, si l'on veut conduire à partir de la ligne des centres, et qu'il faut nécessairement les conduire en partie avant. Cette partie devient, relativement à la seconde, assez petite pour le pignon de neuf.

Un pignon de dix ailes pourra être conduit uniformément par une roue de soixante-douze dents, qui poussera les flancs de ses ailes uniquement après la ligne des centres, pourvu qu'on donne à ce pignon un peu plus de vide que de plein.

Le calcul fait comme ci-dessus indique une différence qui permet une épaisseur raisonnable pour l'aile de pignon.

On trouve l'angle BFE de 3° 36' 22''; or celui d'écartement et d'un vide étant de 5° est moindre que le double de BFE; donc celui-ci doit comprendre avec la demi-dent un vide, soit la place d'une aile de pignon. Au-dessus de cette limite, par conséquent pour le pignon de douze, l'exécution devient facile. Cela concorde bien avec le progrès général de l'art de la construction qui a conduit dans tous les cas à multiplier les nombres de dents, et explique le bon fonctionnement, la faible usure des rouages composés de semblables éléments.

Nombre des dents des roues. — On a donné à l'article ROUES DENTÉES les méthodes à employer pour calculer les nombres des dents des roues d'une minuterie, disposée comme la pratique l'a indiqué, dans un système précieux surtout en ce qu'il occupe peu de place, c'est-à-dire formé de roues et pignons montés sur des axes communs, chaque roue engrenant avec le pignon de la roue suivante. C'est ainsi qu'on obtient à l'aide d'un mouvement de rotation très-lent, produit par le déroulement de la force motrice, un mouvement assez rapide de la roue d'échappement. Pour un appareil chronométrique quelconque, le problème de la détermination du système de roues et pignons le plus convenable se résoudra simplement, dans la pratique courante, par une décomposition en facteurs premiers.

Dans une horloge, on connaît le nombre des oscillations par heure du régulateur formé par le pendule d'après sa longueur donnée (voir le tableau, p. 287), et, par suite, le nombre de tours de la roue d'échappement dont on connaît le nombre de dents. Le calcul se réduit donc à obtenir, d'après la formule générale, le nombre des dents des roues et pignons (trois en général) qui peuvent résoudre le problème, sachant que l'aiguille des minutes (qui correspond au rayon d'une roue) doit marcher douze fois moins vite que celle des heures, celle des secondes (si elle existe), douze fois moins vite que celle des minutes. Nous emprunterons la forme excellente de l'exposition suivante à un éminent auteur anglais, M. R. Willis. A l'exemple des meilleurs auteurs, nous représenterons les roues par leurs nombres de dents, en écrivant ces nombres sur diverses lignes horizontales, en plaçant sur une même horizontale les roues montées sur le même arbre, et celles qui engrènent l'une avec l'autre sur la même verticale.

Ainsi, pour une horloge dont le pendule bat la seconde, supposons le rouage ainsi composé :

Grande roue. . . .	48		25 . .	4
Pignon.	6—45	2e roue. . .	»	»
Pignon . . .	»	6—30 roue d'échappement .	25	»
			aiguille des minutes.	
				48 aiguille des heures.

Le rapport du mouvement de l'aiguille des heures à celle des minutes (qui n'est autre chose que celui des rayons des roues qui les conduisent) est bien celui de 1 à 12, puisque la vitesse de la première, rapportée à celle de l'arbre moteur de la grande roue, est $\frac{25}{25} = 1$ et celle de la seconde $\frac{48}{4} = 12$. **La roue d'échappement fait** par hypothèse un tour en une minute; l'arbre moteur doit donc tourner soixante fois moins vite que celui de la roue d'échappement; en effet, on a bien $\frac{48 \times 45}{6 \times 6} = 60$.

J'ai supposé ici déterminés à priori les nombres des dents des diverses roues; disons d'une manière générale comment on peut y parvenir dans les divers cas de l'horlogerie.

Si l'axe de la roue d'échappement fait un tour en une minute et celui de la grande roue en une heure, on a, pour le rapport des vitesses, $\frac{1_m}{1_e} = 60$; si D est le produit des roues et F celui des pignons, $D = 60\,F$ est une équation indéterminée, et tous les nombres qui y satisfont peuvent être pris pour nombres de dents des roues. Dans une horloge commune, six est le plus petit nombre d'ailes qui soit employé et soixante dents le plus grand qui soit attribué à une roue.

Le plus petit nombre d'axes étant 3, pouvant porter deux pignons de six dents, $D = 60 \times 6^2 = 2160$ sera dans ce cas le produit des nombres de dents des deux roues.

Il faut diviser ce nombre en deux facteurs convenables. La meilleure manière de les obtenir consiste à décomposer le nombre en ses facteurs premiers, en l'écrivant sous la forme

$$2160 = 2^4 \times 3^3 \times 5,$$

et il est alors facile de diviser ces facteurs en deux groupes, comme, par exemple :

$$2^4.3 \times 3^2.5 = 48 \times 45, \text{ ou } 2^3.5 \times 2.3^3 = 40 \times 54$$
$$\text{ou } 2^2.3^2 \times 2^2.3.5 = 36 \times 60.$$

Le premier 48×45 est préférable à cause de la presque égalité des deux nombres; c'est celui indiqué ci-dessus :

$$\frac{D}{F} = \frac{45 \times 48}{6 \times 6},$$

devant être écrit, pour indiquer la disposition des roues, ainsi qu'il suit :

48
6 — 45
6

Nous venons de voir que le nombre six pour les ailes du pignon était trop petit pour assurer une action parfaite, pour une conduite convenable. Un pignon de huit dents est meilleur, mieux encore des pignons de dix à douze dents donnent une action parfaite.

Si on adopte le pignon de 8, $F = 8^2 = 64$ et $D = 60 \times 64$ qui forme un assez bon système de roues

Dans les horloges de précision, on peut employer des roues de plus de soixante dents, cent ou cent-vingt sont des nombres très-admissibles. En employant trois arbres on aura donc :

$$\frac{D}{E} = \frac{(100)^2}{p^2} = 60, \text{ ou } p = 13 \text{ à peu près,}$$

prenant $F = 12 \times 14$, $D = 60 \times 12 \times 14 = 96 \times 105$, ce qui donne le système : 105
14 — 96
12

Quand une horloge ne porte pas d'aiguille des secondes, il n'y a aucune utilité à ce que l'arbre de la roue d'échappement, qui porte cette aiguille, fasse une révolution en une minute; quand le pendule est court, cela est même impossible, à cause du grand nombre de dents qu'il faudrait faire porter à la roue.

Les vibrations de petits pendules sont habituellement exprimées par leur nombre en une minute. Soit p ce nombre, s étant le nombre de dents, $\frac{2s}{p}$ sera la durée de la rotation de la roue d'échappement en minutes, et comme l'arbre des heures fait sa révolution en 60 minutes, le rapport des deux vitesses, ou $\frac{D}{F} = 60 \times \frac{p}{2s} = \frac{30p}{s}$.

Exemple. Le pendule d'une horloge fait 170 vibrations en une minute, la roue d'échappement porte 25 dents et les pignons ont 8 ailes; on a pour les dents des roues :

$$\frac{D}{8^2} = \frac{30 \times 170}{25}, \text{ d'où } D = 13056 = 128 \times 102.$$

Dans une montre, les vibrations du balancier sont bien plus rapides que celles du pendule des horloges; elles varient, suivant les constructeurs, de 270 à 360 par minute. De plus, d'après les petites dimensions des pièces, les roues ne sauraient porter un grand nombre de dents. La roue d'échappement porte de 13 à 16 dents, au lieu de 20 ou 40 dans les horloges, et les nombres de dents des roues varient de 40 à 80. Dans les chronomètres, on arrive jusqu'à 96, nombre bien inférieur à celui usité pour les grandes horloges, dans lesquelles on emploie, dans les mêmes conditions, le nombre 130.

Le nombre des ailes des pignons n'admettant pas de réduction, il faut nécessairement un arbre de plus dans les montres que dans les horloges, et le système de roues entre l'arbre des heures et l'arbre du balancier consiste en trois roues et trois pignons.

Exemple. Le balancier d'une montre fait 360 vibrations par minute, la roue d'échappement a 15 dents et les pignons ont 8 ailes. On aura pour les roues, F étant $8 \times 8 \times 8$,

$$D = 8^3 \times \frac{30 \times 360}{15} = 368640 = 80 \times 72 \times 64.$$

Les exemples de rouages d'horloges donnés se rapportent seulement aux mouvements relatifs de la grande roue et de la roue d'échappement; c'est comme si on supposait le poids moteur adapté à la roue qui fait sa révolution en une heure. Mais, dans ce cas, l'horloge ne pourrait marcher que quelques heures, cinq ou six, sans être remontée. Il est nécessaire de placer le poids moteur sur un axe séparé, réuni par un rouage avec l'arbre des heures, de manière qu'il tourne très-lentement, et que par conséquent la descente du poids moteur ne se fasse qu'en un très-long espace de temps; d'autant plus qu'en même temps la corde, enroulée en spirale, fait un aussi grand nombre de tours qu'on le désire autour du cylindre suffisamment allongé.

Dans la pratique, on ne peut faire faire à la corde plus de seize tours sans que sa longueur devienne un inconvénient. Si donc on veut construire une horloge qui puisse marcher huit jours sans être remontée, il faut que chaque tour suffise pour douze heures. Toute paire de roues produisant un mouvement dans le rapport de 1 à 12 conviendra pour ce rouage; 96 et 8 sont les nombres habituellement employés, ce qui donne le rouage total ci-après :

ROUAGE POUR HORLOGE DE 8 JOURS.	PÉRIODES
96.	12 h.
8 — 105.	1 h.
14 — 96	
12 — 30.	1 m.

Pour une horloge devant marcher un mois ou trente-deux jours sans être remontée, en supposant que le cylindre reçoive encore 16 tours, chaque tour du cylindre devra suffire pour 48 heures, et le rouage devra être déterminé par la relation $\frac{D}{F} = 48$, nombre trop grand pour une seule paire de roues, mais facile à obtenir avec deux. En employant des pignons de 9 ailes, on a :

$$D = 9 \times 9 \times 48 = 72 \times 54.$$

Si l'on voulait de plus gros pignons, de 12 et de 16 par exemple, on aurait :

$$D = 12 \times 16 \times 12 = 96 \times 96.$$

Ce qui donne le rouage suivant :

ROUAGE POUR HORLOGE D'UN MOIS.	PÉRIODES.
96.	48 h.
16 — 96	
12 — 105	1 h.
14 — 96	
12 — 30. .	1 m.

Nous avons supposé au début que l'arbre moteur faisait sa révolution en une heure, que la roue montée sur lui était égale à celle qui conduit l'aiguille des minutes. En faisant ces deux roues de nombres différents, on se débarrasse de l'obligation de faire en sorte que le premier arbre fasse sa révolution en une heure.

Par exemple, dans une horloge de huit jours, la roue d'échappement faisant un tour en une minute, soit le rouage qui réunit l'arbre du cylindre moteur avec celui des minutes $\frac{108 \times 108 \times 100}{12 \times 12 \times 10} = 810$, le cylindre faisant un tour en 810 minutes ou 13 heures et demie, cinq ou six tours de la corde seront suffisants.

La seconde roue de ce train fera sa révolution en $\frac{12}{108} \times 810$ minutes, ou en une heure et 1/2, ou 1/8 de 12 heures. C'est sur cet arbre que sont montées les deux roues E, F, conduisant celles e et f des minutes et des heures. Le rapport est par conséquent :

$$\frac{F}{f} = \frac{1}{8} \text{ et } \frac{E}{e} = \frac{3}{2}.$$

Il est avantageux de donner le même pas aux dents de ces deux paires de roues. Pour l'obtenir, appelons x le multiplicateur du premier rapport qui donne le nombre de dents, et y celui du second, x et $8x$ seront les nombres des dents de la première paire, et $3y$, $2y$ ceux de la seconde. Pour que les dents des deux paires aient le même pas, on doit avoir, puisque c'est un même axe de rotation qui conduit les aiguilles des minutes et des heures :

$$x + 8x = 3y + 2y, \text{ ou } 9x = 5y, \text{ ou } x = \frac{5}{9}y.$$

Soit $y = 9z$, $x = 5z$.

Si $z = 1$, $y = 9$, $x = 5$, on a : $\frac{5}{40}$ et $\frac{27}{18}$.

$z = 2$, $y = 18$, $x = 10$, on a : $\frac{10}{80}$ et $\frac{54}{36}$,

qui peuvent être adoptés.

ROUAGE [1] POUR HORLOGE DE 8 JOURS.			PÉRIODES.
108.			810 m.
12 — 108	54	10	
12 — 100	.	.	
10 — 30. .		.	4 m.
(Aiguille des minutes) .	36		60 m.
(Aiguille des heures)		80	720 m.

Épaisseur des dents. — L'épaisseur des dents en bronze est déterminée dans les constructions mécaniques par la formule $b = 0{,}131 \sqrt{P}$ la largeur de la jante étant de quatre fois l'épaisseur. Ces proportions ne sont pas celles de l'horlogerie ; mais elles démontrent comment on peut faire varier l'épaisseur à mesure que la pression diminue. Or, comme il en est ainsi dans un appareil d'horlogerie du cylindre moteur au dernier mobile, on pourra progressivement diminuer l'épaisseur et augmenter le nombre des dents des roues et des pignons, condition essentielle pour obtenir le minimum du frottement et le maximum de régularité. Observons toutefois que le moindre déplacement des pivots par leur jeu ne permet pas d'exagérer, au delà de toutes limites, la finesse des dentures ; il faut toujours tenir compte des résultats de l'expérience.

Frottement. — Le frottement des engrenages diminue avec le nombre des dents, comme le prouve l'expression du travail consommé par ce frottement ou fonction de travail moteur T_m et des nombres de dents a, a'.

$$T_f = \pi f T_m \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a'}\right).$$

Il y a donc encore à ce point de vue avantage à employer des dentures fines ; on diminue ainsi le travail du frottement, mais surtout on obtient des mouvements plus doux, moins susceptibles de produire de l'usure.

Il peut paraître extraordinaire après cela que l'horlogerie n'emploie jamais les engrenages hélicoïdaux qui suppriment théoriquement les frottements. Mais il faut remarquer que ce résultat étant obtenu par l'obliquité des faces des dents qui sont en prise relativement à la direction des axes, ces engrenages augmentent les frottements des pivots et, ce qui est plus grave, les repoussent et tendent à les fausser. Or les pivots constituent la partie délicate des petits appareils d'horlogerie, et il faut bien se garder d'augmenter les causes de leur altération. Il n'en est pas de même des grosses horloges et de quelques constructions exécutées habituellement par les horlogers, dans lesquelles les efforts transmis sont considérables et dans lesquelles les axes sont guidés par des coussinets ; les engrenages hélicoïdaux à dentures doubles et de sens opposés peuvent y recevoir d'utiles applications.

Il faut encore excepter le cas où les vitesses qu'il s'agit d'obtenir sont beaucoup plus grandes que celles des pièces des mouvements d'horlogerie, lorsque le travail consommé par le frottement devient très grand. Telle est l'application que j'en ai faite dans mon appareil de miroir tournant faisant jusqu'à deux mille tours par seconde demandé par M. Arago, et à l'aide duquel M. Fizeau a réalisé l'expérience curieuse imaginée par l'illustre savant dont l'Europe et la France surtout regrettent la perte, expérience qui montre que la théorie des ondulations, à l'exclusion de celle de l'émission, peut seule être admise pour expliquer les variations de vitesse de lumière dans son passage à travers des corps de densité differente.

Axes non parallèles. — Dans les horloges de clocher, il faut souvent employer des roues d'angle et surtout des vis sans fin pour transmettre le mouvement entre des axes qui se rencontrent et des axes placés à angle droit. Nous ne voulons pas revenir ici sur la description de ces organes, mais seulement insister sur une propriété de la vis sans fin qui la rend très-précieuse en horlogerie.

On prouve que le frottement de la face d'une dent de la roue sur le filet de la vis ne permet de faire tourner celle-ci qu'autant que certaines limites d'inclinaison ne sont pas dépassées, que son angle est moindre que celui du frottement des surfaces en contact, tandis que la rotation de la vis entraîne toujours nécessairement et facilement la roue.

Lors donc que le mouvement d'une résistance considérable est à régulariser par un appareil d'horlogerio, l'interposition d'une vis sans fin, que cet appareil fait mouvoir, l'affranchit des réactions de cette résistance surmontée par quelque moteur auxiliaire, un poids, par exemple, dont la vis sans fin permet l'action.

J'ai fait l'application de cette disposition à un équatorial, et elle peut trouver de fréquentes applications.

Mouvements différentiels. — Dans ce qui précède nous ne nous sommes occupés que du mouvement angulaire produit à l'aide de deux roues dentées autour de deux axes fixes. Si l'un des axes devient mobile, le mouvement de rotation s'ajoute ou se retranche du mouvement de translation produit simultanément.

Ces systèmes ont été étudiés à MOUVEMENT DIFFÉRENTIEL et on a montré dans cet article, qui peut être considéré comme complémentaire de celui-ci, les ressources qui fournissaient ces mouvements pour la combinaison des rouages les plus compliqués que l'on puisse

avoir à construire, horloges avec équation du temps, planétaires, etc.

§ V. DES APPAREILS D'HORLOGERIE AU POINT DE VUE DE LA MÉCANIQUE.

Nous avons cherché, dans les études qui précèdent, à ne pas rester exclusivement, comme on la fait trop souvent dans les traités d'horlogerie, au point de vue des formes géométriques des pièces. Sans doute elles ont une importance capitale, mais on ne doit jamais oublier qu'un appareil chronométrique est une machine possédant seulement ce caractère spécial que les forces en jeu y sont minimes, et que les mouvements doivent s'y accomplir avec la plus grande régularité. Le cachet principal de ces petites machines, c'est qu'elles n'ont à produire aucun travail utile extérieur, c'est-à-dire que la puissance motrice n'a qu'à surmonter les résistances qui s'opposent au mouvement des pièces, comme nous l'avons établi en commençant. Nous insisterons un peu sur ces conditions mécaniques, trop négligées habituellement.

Frottement. — La résistance principale est celle qui se produit par les frottements, et ce qui importe le plus à la régularité de la marche, c'est, non, comme on le dit quelquefois à tort, la diminution des frottements, mais bien leur constance. Aussi dans quelques cas importe-t-il de les augmenter, bien loin de les réduire, quand par ce moyen on peut les rendre invariables.

Le travail consommé par les frottements dont nous parlons peut se diviser en divers modes d'action des corps en contact dans des circonstances diverses, savoir :

L'adhésion ou le frottement au départ, plus grand que le frottement ordinaire, suivant une loi analogue et n'en différant pas sensiblement lorsque les pressions sont minimes, ne se produisant que sur des corps passant du repos au mouvement.

Le frottement entre parties en contact dans un mouvement régulier, dont l'intensité est proportionnelle à la pression.

Enfin le frottement entre parties qui se choquent, où se produisent, par suite, momentanément, des pressions relativement considérables en quelques points, pouvant entraîner, dans certains cas, des altérations de surfaces.

Du système de succession des rouages dans un appareil chronométrique qui fait que pour un très-petit mouvement du moteur on obtient un mouvement considérable du dernier mobile, il résulte que les intensités des frottements directs proportionnelles aux pressions (variant en raison inverse des chemins parcourus dans le rapport de 1 à 600 pour le moins) vont en diminuant rapidement du moteur à l'échappement. Il suit de là :

1° Que les adhérences ne sont sensibles que près du moteur qui seul se meut très-lentement, ce qui prouve qu'il y a avantage à ne pas employer de moteur trop fort, qu'autant que possible on doit préférer un moteur léger parcourant plus de chemin à un moteur trop puissant ; dans une montre, par exemple, il vaut mieux employer un ressort long très-flexible qu'un ressort court et fort.

Dans l'échappement libre il peut aussi se produire une adhérence pendant l'arrêt. On y obvie en partie par l'emploi pour l'arrêt de rubis très-durs qui diminuent beaucoup l'adhésion, et surtout celle résultant de la viscosité des vieilles huiles dont nous parlerons plus loin, huiles qu'on n'est plus obligé d'employer alors.

2° Les frottements proportionnels aux pressions, dont l'intensité décroît rapidement du premier au dernier mobile, doivent toujours s'exercer sur des surfaces assez grandes pour que l'usure ne puisse jamais avoir lieu par une action prolongée et répétée. Dans les grandes horloges, certaines parties doivent être étudiées à ce point de vue, mais on est en général bien au-dessus de cette limite dans les appareils à ressorts.

Si les pressions vont en se réduisant de proche en proche, les chemins parcourus par les frottements vont en croissant, tant ceux produits au contact des roues composant les rouages que ceux des pivots des axes qui portent les roues.

Le travail des frottements des dents des roues est d'autant moindre que le nombre des dents est plus grand, et de plus il est d'autant plus régulier. Il importe donc de bien profiter de la réduction des pressions transmises par chaque roue faisant partie du rouage, à mesure qu'elle se rapproche du dernier mobile pour en faire la denture aussi fine que possible, tout en restant bien au-dessus de la résistance suffisante et sans atteindre des épaisseurs telles que l'on puisse craindre que les contacts ne se fassent pas suivant la génératrice cylindrique.

Nul besoin de revenir ici sur les accidents graves qui peuvent résulter d'une mauvaise division des roues, des arc-boutements, etc., dont nous avons parlé en traitant des rouages. Ce sont des cas d'exécution défectueuse auxquels on ne peut remédier que par un changement complet.

Pivots. — L'emploi des pivots est le grand moyen qu'emploie l'horlogerie légère pour diminuer les frottements, et leur placement une des parties les plus délicates de l'exécution de l'horlogerie de précision.

Le frottement est sur un coussinet, comme dans le cas des horloges est $2\pi rPf$ par tour de roue, et seulement $\frac{4}{3}\pi rPf$ pour un pivot, le rayon du pivot étant bien moindre que celui du coussinet. De plus, par l'emploi de pierres dures pour recevoir le pivot, on diminue la valeur de f et par suite le travail du frottement. Toujours très-gros relativement au poids des pièces, quand on les compare à ceux employés dans d'autres machines, les pivots employés dans l'horlogerie ne peuvent produire tout au plus que pour les derniers mobiles (pour lesquels on emploie les pierres dures) l'usure du métal qui a forcé de les abandonner dans beaucoup d'autres cas.

Chocs. — Le principe fondamental est que l'on doit éviter les chocs ; ainsi, par exemple, que la pulsion des échappements libres doit avoir une faible chute ; le nombre de dents, le tracé, l'emploi de ressorts, tout doit concourir à ce but. Tout choc parvient, par sa répétition, à altérer les surfaces entre lesquelles il se produit et par suite à changer les conditions d'identité qui sont celles dont la réalisation assure la perfection des mécanismes qui servent à la mesure du temps.

Le choc produit à l'échappement, si on ne l'amoindrit par un tracé convenable et en faisant cet organe léger, se propage de proche en proche, fait fléchir les points d'appui, c'est-à-dire les dents d'engrenage, les pivots, etc.

De l'huile. — En parlant des frottements, nous devons traiter de l'huile dont l'emploi fournit le moyen par excellence de les diminuer et de les régulariser. L'introduction de l'huile entre des surfaces en contact substitue au frottement de glissement un roulement sur les petites sphères du liquide d'une parfaite régularité.

Ce résultat est bien certain pour les premiers temps de l'emploi de l'huile ; mais, et c'est ce qui fait le désespoir des horlogers, il se produit à l'air une oxydation qui vient l'altérer et la remplacer par une substance collante qui tend à gêner les mouvements.

Bien qu'on ait essayé plusieurs compositions, la meilleure huile paraît être l'huile d'olive, extraite d'olives choisies d'une parfaite maturité. Elle doit être conservée plus d'une année avant de s'en servir, et

placée dans un flacon bien bouché à l'abri de l'air et de la lumière.

Des pierres dures. — Pour leur travail, voir LAPIDAIRE et FILIÈRES EN PIERRES FINES.

Inertie. — L'inertie joue un grand rôle dans des appareils formés de pièces qui passent sans cesse du repos au mouvement et inversement. C'est surtout pour la roue d'échappement, qui se meut rapidement, que les effets d'inertie sont à considérer et on peut dire sans crainte que bonne partie des succès de l'horlogerie moderne sont dus à la légèreté qu'on a donnée à cette pièce.

Du régulateur et de l'isochronisme. — L'étude des résistances qui consomment le travail moteur permet de bien apprécier l'influence de la loi de l'isochronisme pour produire la grande régularité des bons appareils d'horlogerie moderne. Malgré l'isochronisme propre au pendule décrivant de petits arcs ou au spiral possédant une élasticité convenable, il est clair que les irrégularités du travail moteur, un excès momentané de puissance, par exemple (le raisonnement serait inverse pour sa faiblesse), tend à accélérer tous les mouvements qu'il fait naître de proche en proche, d'où résulte un accroissement du travail résistant, des pressions et du chemin parcouru, et la stabilité n'est acquise, le mouvement uniforme ne tend à se produire, que lorsque le travail résistant est devenu égal au travail moteur pour une nouvelle valeur de ces quantités et par suite une nouvelle vitesse.

Mais si c'est un appareil où cette constance est sensiblement établie dès les premiers instants d'action du moteur de manière à fournir, indépendamment de l'action du régulateur, un mouvement très-voisin du mouvement uniforme (car il ne faut pas supposer que le régulateur puisse suffire à tout), un appareil dont la bonne exécution, la perfection de la taille des roues et des pignons, le parallélisme des pivots, etc., assurent une marche régulière, alors on est certain de lui appliquer avec plein succès un système à vibrations isochrones.

Nous croyons devoir insister sur ce principe qui seul fait bien apprécier le rôle du régulateur qui ne consomme pas de travail en général, mais qui, étant isochrone, agit également bien entre certaines limites pour lesquelles il exerce une action régulatrice suffisante pour les variations secondaires. Ainsi dans une horloge astronomique, le poids de la lentille relativement considérable, ou l'élasticité du ressort spiral tendu dans les chronomètres, a une puissance de régularisation considérable. Or, c'est le régulateur qui vient agir sur une dent de la roue d'échappement qui exerce une pression qui n'est que $\frac{1}{800}$ ou $\frac{1}{6000}$e de la pression exercée par le moteur, c'est-à-dire extrêmement minime. Mais, en principe, cet arrêt correspond à une suspension, mais non à une consommation de travail, et ne peut agir, à ce point de vue, que pour des effets minimes et périodiques en sens contraire.

En principe, c'est sur un système qui tend au mouvement uniforme et se déroule dans des conditions d'uniformité que le régulateur isochrone doit agir, et son action se conçoit facilement alors. Si on suppose, au contraire, faute d'y avoir suffisamment réfléchi, que le système isochrone remédie à tout, qu'il donne la régularité à tout rouage et à toute force motrice, à cause de ses vertus propres, on est dans l'erreur. La réaction de l'appareil mal combiné, éloigné du mouvement uniforme, réagit toujours sur le régulateur et en détruit l'isochronisme, quelque bien réglé qu'il ait été d'abord.

Des modèles à suivre.

Parler de bons modèles, de constructions éprouvées par l'expérience pour des machines si délicates que la théorie ne peut apprécier l'effet de chaque pièce, dont le poids, les frottements échappent, pour ainsi dire, à nos moyens de mesure, c'est ce que nous allons faire bientôt, et nous regrettons que la place nous manque pour multiplier les exemples que nous fournissent les nombreuses constructions de A. Bréguet, que nous avons été souvent assez heureux pour améliorer.

Comparaison de pièces semblables.

Les études d'anciens appareils pour en déduire les dimensions d'autres de même nature ne mènent pas à établir une simple proportionnalité entre les pièces semblables à une simple similitude géométrique. C'est ce que nous allons montrer en rapportant quelques théorèmes établis par Berthoud pour l'étude mécanique des appareils d'horlogerie. Ils peuvent fournir des applications précieuses, et l'on doit considérer comme un des plus grands désidérata des progrès de l'horlogerie, l'habitude de voir manier par les praticiens les théorèmes principaux de la mécanique physique, aussi bien que ceux de la cinématique.

On sait que le travail que peuvent effectuer des corps en mouvement, dont la force vive est en raison de leur masse et du carré de leur vitesse, est mesuré par l'expression $\frac{1}{2} mV^2$.

Comparons ensemble deux corps de dimensions différentes, l'un appartenant, par exemple, à une construction que nous voulons prendre pour modèle, et l'autre à celle à exécuter, de même nature, mais de dimensions différentes de la première. Soit un balancier A, par exemple, M sa masse, V sa vitesse, F sa puissance d'impulsion; a, m, v, f représentant ces quantités pour un second balancier, on aura $F : f :: MV^2 : mv^2$, on en multipliant ensemble les moyens et les extrêmes, $fMV^2 = Fmv^2$. Appliquons cette équation à divers cas :

1° Si $f = F$, $MV^2 = mv^2$ ou $V^2 : v^2 :: m : M$, c'est-à-dire que les masses sont en raison inverse du carré des vitesses; ou si les masses sont en raison inverse du carré des vitesses, les puissances des balanciers sont égales. En effet, par exemple, si la vitesse de A = 1, et celle de a = 2, le carré de la vitesse de A = 1, et le carré de la vitesse de a = 4 : si la masse du balancier A = 4 et celle de a = 1, on aura, en mettant ces nombres à la place des lettres de la dernière équation, $V^2 M = v^2 m$.

2° Si les masses des deux balanciers sont égales, c'est-à-dire s'ils ont le même poids et qu'on ait $m = M$, l'équation fondamentale $fV^2 M = Fv^2 m$ devient $fV^2 = Fv^2$, en divisant les deux membres par des quantités égales $m = M$, d'où l'on tire cette proportion $f : F :: v^2 : V^2$, ce qui signifie que si deux balanciers ont des masses égales et sont mus avec des vitesses égales, leurs puissances sont entre elles comme les carrés de leurs vitesses. Substituons encore une fois les nombres aux lettres dans la proportion précédente, pour l'intelligence de ceux qui ne sont pas familiarisés avec cette forme de calcul. Supposons que la vitesse du balancier A, exprimée par V = 1, son carré ou $V^2 = 1$, que la vitesse du balancier a, exprimée par $v = 4$, son carré, ou $v^2 = 16$, la proportion précédente se transformera en celle-ci : $f : F :: 16 : 1$, ce qui signifie que la force requise pour entretenir le mouvement du balancier a est à celle requise pour entretenir le mouvement du balancier A, comme 16 est à 1, c'est-à-dire que ces forces sont entre elles comme les carrés de leurs vitesses.

3° Si les vitesses des deux balanciers sont égales, c'est-à-dire $v = V$, la proportion primitive deviendra $f : F :: m : M$, et, par conséquent, les forces seront entre elles comme les masses; par conséquent les actions requises pour entretenir les mouvements se-

ront nussi comme les masses ou comme les poids des balanciers.

4° En général, si les vitesses et les masses des deux balanciers sont inégales, leurs forces seront entre elles comme le rapport composé du produit des masses par les carrés des vitesses, ce qui est exprimé par la proportion primitive et fondumentale $f : F :: v^2m : V^2M$.

« D'après cela, connaissant la masse d'un balancier, sa vitesse, la force qui le met en mouvement, dans une montre parfaitement construite, longtemps éprouvée, et qui servira de terme de comparaison, on en déduira facilement toutes les conditions requises pour le balancier d'une autre montre, lorsqu'il doit avoir une masse différente, plus ou moins de vitesse, plus ou moins de force pour se mouvoir, etc.

« Pour comparer les vitesses de deux balanciers, il faut multiplier le nombre de vibrations pendant un temps donné par le diamètre de cheque balancier; les produits exprimeront les vitesses, en supposant qu'ils décrivent des arcs semblables; mais si cela n'est pas, il faudra faire pour chaque balancier un produit de ces trois choses : 1° du nombre de vibrations dans le même temps; 2° du diamètre ou du rayon du balancier; 3° de l'arc parcouru par le balancier.

« Pour trouver les dimensions d'une montre que l'on veut composer, il faut se servir, pour terme de comparaison, d'une bonne montre disposée le plus avantageusement possible, et qui soit tellement exécutée, que les frottements soient réduits à la moindre quantité; en sorte que la force motrice ait la relation requise avec le régulateur, pour que la montre aille le plus juste qu'il est possible. Cela étant, on mesurera le diamètre du balancier, son poids; on comptera le nombre de vibrations qu'il fait par heure; l'étendue de ces vibrations; on mesurera la force du grand ressort, et enfin on comptera le temps que met la fusée, ou l'arbre de barillet lorsqu'il n'y a pas de fusée, à faire une révolution. »

Problème.

« Les dimensions d'une montre de comparaison A étant données, trouver quelle doit être la pesanteur ou la masse d'un balancier d'une autre montre *a*, de laquelle on connait le diemètre du balancier et le nombre de vibrations.

« Dans la solution du problème dont nous nous occupons, on suppose que dans la moutre *a* les arcs de la force motrice sont de même grandeur que ceux de la montre de comparaison A, et l'on demande qu'il y ait même rapport de la force motrice de la montre *a* avec son régulateur qu'il y a entre la force motrice de la montre A avec son régulateur. »

Voici les dimensions rapportées par Berthoud de la montre de comparaison A, qui est à cylindre comme celle qu'on veut exécuter. Nous avons placé dans le même ordre toutes les données de la montre *a*. Nous avons mis devant chaque article les lettres qui correspondent à la formule générale pour la facilité de l'opération.

MONTRES DE COMPARAISON A.

M.	Poids ou masse du balancier . . .	6,25	grains.
V.	Diamètre du balancier	8,50	lignes.
	Vibrations par seconde. . . .	5	
	Étendue des arcs de vibration.	240	degrés.
	Fusée en 5 heures.	1	tour.
F.	Ressort moteur fait équilibre à 40 centimètres (4 pouces) du centre de la fusée à.	5,75	gros.

MONTRE A EXÉCUTER *a*.

m.	Poids ou masse du balancier. .	*x*	grains.
v.	Diamètre du balancier.	10,25	lignes.
	Vibrations par seconde. . . .	2	
	Étendue des arcs de vibration.	240	degrés.
	Fusée en 5 heures.	1	tour.
f.	Ressort moteur fait équilibre à 40 centimètres (4 pouces) du centre de la fusée à.	5,75	gros.

Puisque les forces des ressorts sont supposées égales, nous avons à résoudre la seconde proportion $V^2 : v^2 :: m : M$; mais *m* étant l'inconnue que nous cherchons, cette proportion devient $V^2 : v^2 :: x : M$, qui nous donne la valeur $x = \frac{V^2 \times M}{v^2}$.

Pour avoir en chiffres la vitesse de balancier A, il faut multiplier 8.50, qui exprime le diamètre de balancier, par 5 vibrations qu'il fait par seconde, ce qui donne 42.50. Multipliant ce nombre par lui-même, afin de l'élever au carré, on aura 1806.25 pour la valeur de V^2.

De même, pour avoir la valeur de v^2, il faut multiplier 10.25 par 2 vibrations par seconde, ce qui donne 20 50, dont le carré est de 420,50 $= v^2$. En substituant aux lettres, dans l'équation précédente, les nombres que nous venons de trouver, cette équation deviendra $x = \frac{1806.25 \times 6.25}{420.50}$, équation qui donnera en grains le poids du balancier.

§ VI. APPAREILS CHRONOMÉTRIQUES. — DES DIVERS GENRES D'APPAREILS.

L'usage est de diviser les appareils chronométriques en deux séries : les appareils construits pour les usages ordinaires de la vie, comprenant les pendules d'appartement, les grosses horloges, les montres, dans lesquels le prix de revient joue un grand rôle, ne sauraient dépasser, surtout pour les pendules et les moutres, une limite très-resserrée, dont le bon marché est une condition essentielle de succès. La seconde comprend les appareils dans lesquels, même au prix de grands sacrifices, on recherche la plus grande précision possible, et se compose des pendules astronomiques, des régulateurs, destinés surtout aux observatoires, et des chronomètres, appareils portatifs servant surtout aux navigateurs.

Nous traiterons des deux séries d'appareils dont nous avons à parler sous les deux divisions : Appareils réglés par pendule, — par balancier et ressort spiral.

Des calibres en général. — De la manière de les établir. — Du compas de proportion.

Avant de passer à l'étude de construction d'appareils chronométriques complets, nous dirons un mot des calibres et des moyens de les établir, du secours que prête à cet effet l'instrument connu sous le nom de compas de proportion.

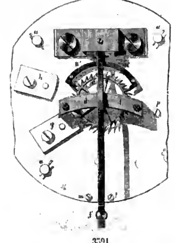
Nous prendrons pour exemple de la manière d'opérer le tracé du calibre d'une montre.

Quand on a tracé un cercle qui représente la grandeur de la platine de la montre que l'on veut exécuter, on distribue les points principaux à la place où l'on désire qu'ils soient situés, tels que le barillet, le balancier, et le centre de l'aiguille des secondes s'il y en a.

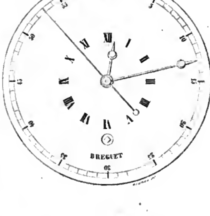
Ces points une fois fixés, on dispose les roues qui doivent relier le moteur à la résistance de la manière la plus avantageuse et la plus gracieuse; puis, tous les centres étant placés, comme on a déterminé d'avance le nombre des dents et des pignons, on trace leur grosseur respective au moyen du compas de proportion.

Cet instrument est des plus commodes pour tracer exactement les grosseurs des roues et pignons. Pour cela on prend le côté où l'on voit écrit parties égales, où

il y a de chaque côté une suite de divisions très-rapprochées. Comme les diamètres sont proportionnels aux circonférences, et par suite aux nombres des dents, l'on prend avec un compas à pointes la distance de deux centres que l'on a déterminés d'avance, on ouvre le compas de proportion jusqu'à ce que les deux pointes du compas à pointes puissent se mettre chacune sur les nombres représentant sur chaque ligne la somme du nombre des dents de la roue et de celui du pignon. — Cela fait, on prend la distance qui existe entre les deux nombres de la roue sur les deux lignes divisées, ce qui détermine le diamètre de la roue, et l'on fait de même pour avoir le diamètre du pignon. Mais pour



3591.



3590.

avoir de suite les rayons, afin de pouvoir tracer les circonférences de suite avec l'ouverture du compas, l'on prend non pas la somme des nombres des dents, mais la demi-somme, puisqu'en effet la distance des centres des deux mobiles est la somme des deux rayons et que les rayons sont proportionnels aux circonférences.

Il est essentiel dans un calibre de disposer les pièces de manière à ce que l'on puisse voir facilement les fonctions du mécanisme, et aussi que l'on puisse les démonter le plus possible indépendamment les uns des autres. — Plus on donne d'aisance, de facilité au travail, plus aussi l'ouvrier le fait plus facilement et mieux.

Les mêmes principes doivent être suivis pour établir les calibres des montres et des pendules.

1. Régulateur astronomique.

L'horloge astronomique est l'horloge de précision par excellence; c'est par elle que nous devons commencer, car elle offre l'application complète des principes exposés à des pièces d'une dimension assez grande pour que l'exécution géométrique soit possible et fournisse la plus grande précision qu'on peut espérer atteindre.

Nous décrivons ici le régulateur tel qu'il se construit dans la maison Bréguet, à peu de chose près, depuis A. Bréguet, dont nous allons suivre la description.

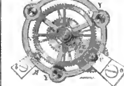
Horloge astronomique. — L'horloge astronomique à pendule (que l'on nomme communément pendule à secondes ou régulateur) est l'appareil le plus parfait et le plus simple pour la mesure du temps. Après ce que nous avons dit dans notre introduction sur les principes généraux de ces machines, on en reconnaîtra sans peine ici l'application; nous insérerons à l'occasion toutes les réflexions et les remarques utiles.

L'horloge astronomique et son mouvement sont représentés en élévation, prise en avant et en arrière (fig. 3590 et 3591), latéralement et intérieurement (fig. 3593 et 3794).

La force motrice est produite par un poids de 3 kilog. dont la corde mouflée en deux s'enroule sur un tambour garni de son ressort auxiliaire. L'horloge marche 36 jours. Le *mouvement* se compose des mobiles suivants entre le cylindre moteur et la roue d'échappement :

96
12 — 100
40 — 80
10 — 75
40 — 30 aiguille des secondes

montée sur l'axe de la roue d'échappement.



3592.

La minuterie placée en avant de la paroi antérieure (fig. 3592), de la cage, se compose des roues suivantes; la première étant montée sur l'axe de la roue de 75 ci-dessus qui, engrenant avec le pignon de 40 qui fait un tour en une minute, effectue sa rotation en 7,5 minutes :

12 — 96 aiguille des minutes.
8 — 48
48 aiguille des heures.

On voit que les mobiles sont distribués en cercles, afin qu'avec de grands diamètres ils occupent le moins de place possible. Les platines sont rondes et le tout est

renfermé dans un cylindre de cuivre portant le cadran. Cette disposition est la plus économique. Le cylindre s'attache au moyen de trois oreilles à un fort *chevalet* de laiton fondu qui doit être accroché et maintenu en place par trois crochets et trois *vis à caller*, sur un mur bien solide, sans toucher à la boîte, ou mieux encore, sur un *étrier* de fer scellé dans le mur.

La suspension est formée par deux ressorts en acier ou en or, contenus dans la mâchoire ou pince établie sur le support. La compensation est à gril, et formée seulement de cinq branches, dont trois d'acier et les deux autres de zinc.

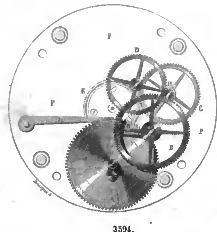
L'échappement est celui de Graham, à ancre; les levées et les repos de chaque bras de l'ancre sont formés d'un rubis.

La roue d'échappement est au centre du *mouvement* mais en dehors de la cage, ainsi que l'ancre, sur la platine postérieure, (fig. 3591); la longue tige de cette roue traverse les deux cages, pour porter l'aiguille des

L'échappement est construit de telle manière que, dès qu'une dent quitte un des plans d'impulsion ou une levée, la dent opposée tombe presque juste sur le bord du repos, c'est-à-dire très-peu en delà de l'angle légèrement arrondi qui le sépare du plan de levée, et seulement de la quantité nécessaire pour la sûreté.

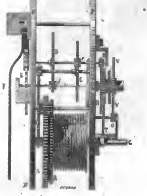
L'expérience prouve qu'en donnant aussi très-peu d'arc de supplément (0°,80 de levée et 0°,20 de supplément, le demi-arc étant d'un degré, ou l'arc total de deux degrés), les horloges ont plus de régularité et que la diminution des arcs par l'épaississement des huiles, lorsqu'elles sont de bonne qualité, ne peut faire arrêter l'horloge qu'après 7 ou 8 ans de marche. Or, l'on sait qu'une horloge bien entretenue ne doit pas être laissée aussi longtemps sans être démontée pour la nettoyer et renouveler les huiles. Ce n'est qu'avec une pareille réduction de l'arc de repos que l'échappement à ancre peut convenir pour un régulateur.

Il devient évident qu'avec cette réduction d'arcs et



3594.





3593

secondes au centre du cadran. La minuterie est de renvoi, ainsi qu'on le voit dans la petite figure qui montre notamment l'effet des roues de 48, pour reporter au centre du cadran le mouvement de l'aiguille des heures.

Ayant ainsi indiqué les positions relatives des principales pièces, entrons dans quelques détails sur la construction de chacune d'elles.

Le moteur dans l'horloge astronomique est plus simple et plus facilement constant que dans toute autre espèce de chronomètre, puisqu'il est formé d'un poids dont l'action directe est ce que nous connaissons de plus régulier.

Ce poids est mouflé pour obtenir une durée suffisante de la marche, sans trop élever l'horloge ou sans multiplier les mobiles. Ainsi lorsque la poulie est bien libre, bien ronde, ainsi que le tambour sur lequel on remonte le poids à l'aide d'une clef qui se monte sur le carré G, que la corde à boyau est bien égale, on est certain d'avoir une force motrice très-uniforme. La précision de l'horloge astronomique dépend principalement de l'échappement, de la suspension et de la compensation; les autres éléments, la régularité de la force motrice, l'isochronisme des oscillations du pendule, ne laissent rien à désirer.

cette précision dans l'échappement, la roue doit tourner parfaitement ronde, avoir ses dents bien justifiées et que l'ouverture des bras de l'ancre doit être constante dans les températures diverses, ce qui dépend beaucoup de la manière de la construire et des précautions dans l'écrouissage de la matière. L'on doit aussi laisser très peu de jeu aux pivots de l'échappement, ainsi que dans la communication de la fourchette F, pièce qui sert à réunir la pendule avec l'ancre. La suppression de celle-ci que nous avons pu pratiquer dans notre pendule double et ailleurs, est une grande amélioration puisqu'elle rend les effets de l'échappement plus précis et plus purs. Mais cette construction exige des précautions contre les accidents presque inévitables pour mettre en marche ou régler la pièce, il faut alors que les levées puissent céder dans les arcs-boutements; elle augmente le travail et le prix; car il faut des vis de rappel pour mettre l'échappement et pour régler la pénétration des bras de l'ancre; il faut aussi des ressorts, etc. C'est donc pour concilier l'économie avec l'emploi commun de ces régulateurs que nous avons conservé la construction ordinaire, en réservant les soins dont il s'agit pour des ouvrages plus recherchés et plus dispendieux, destinés à porter

au plus haut degré qu'il nous a été possible la régularité des instruments d'observation.

La suspension à ressorts est préférable à toute autre. Nos ressorts sont presque toujours en or, et très-courts; on peut les faire aussi en acier. Ces ressorts doivent être scrupuleusement ménagés, et surtout ceux en or, pour qu'ils ne soient pas forcés, lorsqu'on adapte le *pendule* à sa suspension, ou lorsqu'on l'en sépare.

La compensation du pendule est assez heureusement simplifiée par l'emploi du zinc que l'on a substitué, depuis 1822, au laiton; nous avons adopté le principe de construction d'*Harissen*, parce que le gril présente des effets plus sûrs, plus simultanés, et que l'assemblage est plus simple : mais notre gril, au lieu d'avoir neuf branches, est réduit à cinq, dont trois d'acier et deux de zinc. Il est contenu par cinq traverses en laiton, plus une d'acier, dite *mobile*, parce qu'elle se déplace facilement en hauteur, pour augmenter ou diminuer la compensation, sans démonter le pendule. Trois des traverses de laiton ne sont que de sûreté, pour maintenir l'écartement des deux branches extérieures et garantir les branches de zinc dans le transport.

Nous relaterons ici le degré de précision auquel on a pu arriver par l'application des principes et la bonne exécution d'un mécanisme où rien ne gêne pour adopter la solution la plus satisfaisante des difficultés que peut présenter l'exécution. Un régulateur Bréguet, au dépôt de la marine, n'a pas varié, pendant plusieurs années, de trois secondes par an! (Voir, *Astronomie* d'Arago, la marche de plusieurs régulateurs.)

Ce résultat prouve surabondamment l'inutilité des recherches d'améliorations entraînant des complications considérables comme des échappements à remontoirs de formes variées, pour un appareil parfait en quelque sorte déjà, et qui font perdre à l'appareil cette simplicité, cette régularité mathématique en quelque sorte qui en assure le bon service et que donne un bon échappement à repos. On peut dire qu'ils ne sont pas nécessaires, et si, exécutés par un habile artiste qui y a mis tous ses soins, tout son amour-propre d'inventeur, ils ont pu donner de bons résultats, il est certain qu'ils n'offriraient aucun avantage à être reproduits et donneraient, la plupart du temps, des régulateurs dont la précision serait bien inférieure à celle du régulateur normal que nous venons de décrire.

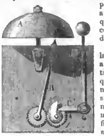
DE LA SONNERIE.

La principale exigence de l'usage civil pour les pendules d'appartement, ainsi que pour les grosses horloges destinées à montrer l'heure à l'extérieur, c'est de leur faire sonner les heures. Les systèmes dits sonneries, dont nous allons parler, étant nécessairement en rapport avec les rouages des heures qui agissent sur eux à l'instant voulu pour leur faire sonner l'heure marquée, il en résulte pour ceux-ci, malgré l'adaptation de systèmes moteurs spéciaux pour produire une action nouvelle, une charge, une variation d'efforts nuisible à la régularité de la marche. Aussi jamais on n'adjoint de sonneries aux appareils de précision et on les emploie-t-on que dans l'horlogerie pour l'usage civil où l'exactitude absolue n'importe pas autant que la satisfaction de diverses convenances.

Nous allons passer en revue les deux modes de sonneries qui se retrouvent dans les pièces diverses à l'usage civil.

On pourrait faire sonner un *coup* à chaque heure sans aucun mécanisme particulier, en mettant simplement une cheville à la roue qui fait sa révolution dans une heure, et en disposant convenablement la *queue d'un marteau* pouvant frapper sur un timbre.

Une disposition plus convenable consiste à placer sur la roue des heures une came, un excentrique qui n'est qu'une pièce de métal, taillée en forme de spirale, comme on le voit dans la figure 3595, et dont l'effet est que le travail d'élévation du levier se trouve produit pendant l'heure entière, au lieu d'être fait brusquement, mais avec beaucoup de frottement, le long du contour de la came.



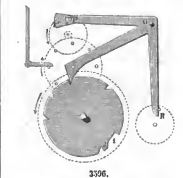
3595.

Cet appareil exige que la force motrice soit peu augmentée. Cette disposition convient dans quelques cas, pour les tribunaux, par exemple, où la succession d'un grand nombre de coups est gênante. Elles suffisent parfaitement, puisqu'elles appellent l'attention sur le fait que l'heure vient de finir, et quiconque ne sait pas quelle heure n'a qu'à regarder. Passons aux sonneries complètes.

Sonnerie à chaperon.

Sur une roue du mécanisme de l'horloge sont placées, en nombre convenable, des chevilles, pouvant lever la queue d'un marteau tournant autour d'un axe, l'une après l'autre. Au-dessus de la roue qui porte les chevilles pour la sonnerie, s'en trouvent ordinairement deux autres. La plus élevée fait mouvoir un modérateur à ailettes pour modérer la vitesse de déroulement du rouage, afin que les coups du marteau puissent se succéder convenablement. Celle au-dessus de la roue de la sonnerie doit accomplir exactement une révolution pour un ou plusieurs coups de marteau. Je supposerai que c'est une révolution pour chaque coup, comme cela a lieu ordinairement.

On verra par la figure 3596 sur quel principe reposent les différentes manières de lâcher la sonnerie. Une



3596.

cheville P, placée sur l'une des dernières roues du mécanisme, presse sur un point d'arrêt S placé sur un levier, lorsque l'horloge ne sonne pas. Ce levier courbé peut tourner autour d'un pivot et son autre bras peut être levé par une cheville R placée sur la roue des heures du mouvement lorsque l'horloge est sur le point de sonner, et cela permet à la cheville P de franchir en glissant le point S; mais elle ne peut aller loin, ne tardant pas à être arrêtée par un autre point T, situé soit sur la même pièce ou sur une autre qui s'y rattache; le bruit qui en résulte se nomme *la préparation*.

Lorsque l'instant de sonner est arrivé, la cheville R s'échappe entièrement de dessous la détente et la laisse tomber; de cette manière la roue à chevilles peut tourner jusqu'à ce que la cheville P soit revenue au point S. Mais avant que cela arrive on s'est arrangé, comme nous allons le dire, de telle sorte que l'arrêt S reste écarté si l'horloge a à sonner plus d'un coup.

Une grande roue appelée *chaperon* ou ROUE DE COMPTE, mue par le rouage et le moteur spécial de la sonnerie, fait sa révolution en 12 heures. Le bord du *chaperon* est partagé en 78 divisions, et il porte de profondes entailles aux distances successives de 1, 2, 3, etc., divisions, jusqu'à 12 : l'on peut en voir quelques-unes sur le dessin. Un troisième bras de la détente s'étend jusqu'au chaperon et se termine par une dent qui peut pénétrer dans ses entailles. Lorsque le premier coup d'une heure quelconque sonne et que la roue à cheville P fait une révolution, le *chaperon* tourne aussi dans la direction indiquée sur la figure; la dent sortie de l'entaille vient reposer sur le bord jusqu'à ce qu'une autre entaille se présente pour qu'elle y tombe; la profondeur des entailles est telle que la détente est assez éloignée pour écarter les points d'arrêt S et T du passage de la cheville, après une révolution, et ils demeurent ainsi jusqu'à ce que l'horloge ait sonné le nombre de coups voulus par la rotation de la roue dont les chevilles agissent sur le marteau. Alors le mouvement de la sonnerie s'arrête, l'extrémité du bras de la détente tombe dans l'entaille suivante du chaperon, sa position étant bien celle convenable pour l'heure à sonner, et le replacement de OS arrête le rouage de sonnerie. On voit que le chaperon serait, en effet, un véritable cadran horaire si les entailles étaient marquées avec les heures, puisque le nombre indiqué par la partie supérieure est toujours le dernier nombre que l'horloge a sonné.

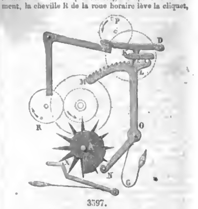
Les pendules de cheminée étant construites de manière à sonner un coup aux demi-heures, la *roue de compte* ou *chaperon* est partagée en 90 parties au lieu de 78, et toutes les entailles sont aussi longues que celles d'une heure dans les horloges qui ne sonnent pas les demi-heures.

La sonnerie par chaperon est celle qui est employée pour les grandes horloges, pour les pendules d'appartement, dans tous les cas où la place ne manque pas pour installer le chaperon et le volant à ailettes qui règle le déroulement du rouage.

Sonnerie à râteau.

Un système très-usité dans le siècle dernier permet de faire répéter à une horloge la sonnerie de toute heure aussi souvent qu'on le veut, ou d'arrêter la sonnerie à volonté. Nous allons le décrire, vu que c'est à peu près le même système qui est adopté pour la construction des montres à répétition.

La roue de compte complète du système précédent est remplacée par une portion de roue LM (fig. 3597), appelée *râteau*, tournant sur un centre O et ayant 13 à 14 dents taillées en rochet. Un autre rayon ON de ce fragment de roue est muni d'une cheville; et sur une *étoile*, que nous décrirons bientôt et qui tourne en douze heures, se trouve fixé un *limaçon* ayant 12 gradins situés à des distances inégales du centre, sur lesquels s'appuie cette cheville, de manière à ce que lorsque l'aiguille des heures indique, par exemple, 5, la cheville N puisse rencontrer le cinquième gradin du limaçon, par suite, à une profondeur telle que le *râteau* puisse tomber de l'espace de 5 dents. Le râteau est retenu par un cliquet DE fixé sur un axe au point D, dont l'action est combinée avec celle d'un ressort G placé à la partie inférieure. Le bras du *cliquet* est prolongé et repose sur une détente dont le bras T faisant saillie en arrière est placé de manière que lorsque la détente est poussée, la cheville P de la troisième roue du mécanisme de la sonnerie peut franchir le point d'arrêt T; mais lorsqu'elle est au repos, elle arrête la cheville, et, par conséquent, le mécanisme. Lorsque l'horloge donne l'avertissement, la cheville R de la roue horaire lève le cliquet,



3597.

qui laisse le râteau retomber aussi loin que le permet le limaçon.

Au-dessus du râteau, il y a une espèce de crochet K, qui de fait n'est qu'un pignon d'une dent, placé sur l'arbre saillant de la seconde roue, c'est-à-dire audessus de la roue de la sonnerie, et à chaque révolution de cette roue, et par conséquent à chaque coup du marteau, il entraîne les dents du râteau, l'une après l'autre. On voit que quand l'horloge doit sonner, la détente se déplace, ce qui rend la cheville P libre, et laisse tomber le cliquet jusqu'au râteau, de manière à être prêt à saisir les dents et à les retenir à mesure que le pignon les repousse. Lorsque ce crochet a entraîné la dernière dent, sa queue tombe sur une cheville placée au bout du râteau, et, par suite, elle ne peut plus tourner davantage, et le rouage se trouve arrêté.

Si l'horloge doit pouvoir répéter à volonté la dernière heure sonnée, on prolonge le cliquet D en arrière, on y met un cordon qui descend dans la caisse de l'horloge, et lorsque ce cordon est tiré, l'horloge sonne. Mais si le cordon est lâché trop vite, le cliquet saisira le râteau avant qu'il soit tombé assez loin, et l'horloge ne sonnera pas assez de coups, et s'il n'est pas lâché assez vite, le cliquet ne saisira pas le râteau au premier coup, et elle sonnera trop de coups. Le cordon doit donc être fixé à la détente, au lieu de l'être au cliquet, comme on le fait habituellement. Si, en tirant le cordon, vous voyez que l'horloge ne veut pas sonner, c'est qu'elle est entre la préparation et le moment où elle sonnera, et si vous la laissez sans la toucher, elle sonnera d'elle-même au bout de quelques minutes.

La roue à étoile A, dont on se fait facilement une idée par notre dessin, tourne d'un douzième de tour chaque heure, au moyen d'une cheville fixée sur la roue des heures qui pousse un de ses rayons. Il est vrai que la cheville ne l'entraîne pas directement sur une longueur suffisante; mais au moment où elle sera parvenue à la moitié de cette distance, le rayon placé au point X, dans le dessin, aura atteint l'angle de ce qu'on nomme le sautoir, placé en dessous, et aussitôt que la pointe du rayon aura passé l'angle, la pression d'un ressort fera le reste. Le sautoir agit ainsi à la fois comme un cliquet pour maintenir la roue à

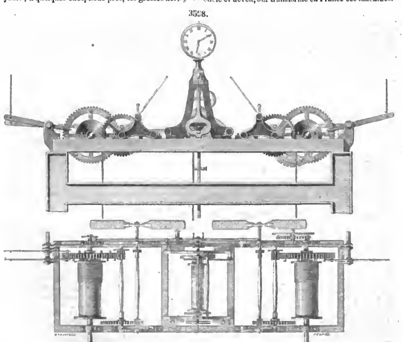
étoile, et pour la faire arriver rapidement à la position qu'elle doit occuper.

2. *Grosses horloges.*

Les grosses horloges, dont la construction repose sur les mêmes principes que celle des horloges astronomiques, sauf la dimension plus grande des appareils et l'accroissement des résistances, sont en quelque sorte les grosses machines de l'horlogerie. Les forces motrices plus considérables, ainsi que les résistances des frottements, celles du vent sur des aiguilles de grande dimension, etc, conduisent à des pièces assez grandes et rendent nécessaire, pour obtenir de bons résultats, l'exécution des pièces suivant les principes de la science. La taille épicycloïdale des dents des roues, par exemple, est tout à fait indispensable, car les contacts s'y passent suivant des longueurs notables, tandis que dans les montres et appareils de même dimension, les contacts des petites roues à denture fine ne s'exerçant, pour ainsi dire, qu'en un seul point, de telle sorte que la régularité de l'espacement de petites dents devient une condition presque suffisante, que la forme géométrique y devient d'importance secondaire.

Longtemps stationnaire en France, cette branche d'industrie n'a fait de véritables progrès que de nos jours; à quelques exceptions près, les grosses horloges manuels a été la cause principale de leur amélioration. Jadis les grosses horloges étaient composées de roues de fer forgé, dont la denture était façonnée à la main, à l'aide de la lime et du burin, chaque dent l'une après l'autre; ces roues étaient montées sur des axes forgés et limés à pans; l'action rapide et précise du tour n'était pas toujours employée pour exécuter les pivots; des cages de fer forgé servaient à assembler les diverses parties; brutes de forge, ces cages ne recevaient d'ajustement qu'à leur point de réunion; les places où devaient être insérés les pivots n'étaient pas toujours, de prime abord, garnies d'un bouchon de cuivre; l'usure des contacts incessamment répétés des pièces composant l'échappement n'était combattue que par la présence de l'huile. Les vieilles horloges, dit M. Séguier, n'étaient, pour la plupart, que des espèces de grossiers tourne-broches réglés dans leur marche par un pendule oscillant, au lieu d'un volant à mouvement circulaire. La substitution du bronze au fer forgé pour les roues, la trempe en paquets, ou l'emploi de l'acier pour les pignons, la division mécanique des dentures, à l'aide de la plate-forme et de la fraise par les Hulot et les Salleneuve, la forme épicycloïdale donnée avec la lime à fendre en crochet par les Pons, la fabrication des pignons par de semblables procédés, le tournage complet des axes par les Lepaute, les Janvier, les Wagner oncle et neveu, ont transformé en France ces machines.

3528.



3529.

avaient été bien plutôt des œuvres de serrurerie que des produits d'horlogerie; la substitution des moyens mécaniques de la fabrication aux procédés purement

Nos vieilles horloges, dont les chocs fatiguaient les oreilles, ébranlaient même les planchers au moment des fonctions, sont désormais changées, grâce à ce-

habiles artistes, en admirables appareils de précision, cheminant avec douceur, n'interrompant le silence des lieux où ils sont installés que par le léger bruit inséparable de la chute de l'échappement et de la préparation de la sonnerie.

Nous donnons ici les dessins (fig. 3598) et le plan (fig. 3599) d'une horloge de M. Wagner neveu, l'élévation prise en arrière; nous retrouverons dans cette construction l'application de la majeure partie des perfectionnements que nous venons d'énumérer.

Le châssis est un simple carré long, d'une seule pièce de fer fondu, ayant ses parois de champ, et portant toutes les roues et les détentes. Les roues sont épaisses et en laiton fondu; les plus grandes portent environ 30 centimètres de diamètre, quoique cette horloge soit des plus fortes et comporte des timbres ou cloches de cinq à six mille. La longueur du pendule est celle du pendule à secondes; les pignons de douze, dix et neuf; enfin, placées en arrière, sont les roues dites de temps, qui ne contribuent qu'à la durée de la marche. La plupart des grosses horloges ne marchent d'ordinaire que vingt-quatre ou quarante-huit heures, avec l'excédent ordinaire, pour être remontées chaque jour ou tous les deux jours. Ce n'est pas que l'on ne puisse au besoin les faire marcher plus longtemps, mais alors elles exigent des soins plus grands.

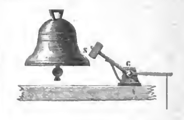
La tringle qui transmet le mouvement aux aiguilles du cadran ou des cadrans peut se projeter dans toutes les directions au moyen d'engrenages d'angle; la mise à l'heure de ces aiguilles est accusée par le petit cadran intérieur du haut de l'horloge représenté sur la figure. Le mouvement étant groupé séparément des rouages de sonnerie, chaque partie se démonte à part, en levant les coqs qui tiennent les axes en cage. La sonnerie des heures est à droite, celle des quarts à gauche du mouvement de l'horloge.

Le mécanisme de cette dernière est le même que celui de la sonnerie des heures. Il suffit d'employer, pour compléter ainsi l'horloge, deux marteaux à la place d'un, et de placer une garniture de chevilles de plus sur la roue de la sonnerie pour les lever. S'il s'agit de faire sonner les quarts sur deux cloches, on peut construire cette roue parfaitement semblable à la roue de la sonnerie des heures, ayant seulement deux garnitures de chevilles placées sur ses côtés opposés, de manière à lever les deux marteaux alternativement. Mais s'il y a quatre cloches ou plus, la roue de sonnerie est rendue plus épaisse de manière à former un cylindre de carillon, avec des chevilles en ressortant comme le barillet d'une boîte à musique, et ces chevilles lèvent successivement les marteaux, qui sont tous placés sur un même axe.

La position des marteaux qui frappent sur les cloches est controversée : les uns veulent, pour faciliter le départ du rouage de sonnerie, que le marteau, au repos, pende perpendiculairement au bout de son levier, et qu'il présente, à mesure qu'il est soulevé, une résistance progressivement croissante pour venir ainsi en aide au volant à ailettes chargé de modérer le déroulage du rouage qui tend à s'accélérer; d'autres prétendent que la position du marteau au départ doit être telle, qu'il perde de sa pesanteur à mesure qu'il est soulevé pour compenser les inégalités d'effort que le rouage de sonnerie éprouve quand la résistance augmente et que la puissance diminue par suite des modifications de rapport entre les pièces des mécanismes agissant comme leviers (fig. 3600); d'autres encore veulent que les efforts restent constants, et remplacent les rouleaux par des cames calculées de façon à maintenir la résistance et la puissance dans une relation compensée; c'est ce que préfère le savant M. Denison, ce qu'il a fait appliquer dans l'horloge exécutée par M. Dent, sous ses inspirations, pour le palais de Westminster.

Observations. — Nous signalerons encore en terminant quelques progrès dans la construction des horloges de clocher.

Nous avons déjà parlé de la diminution de la partie de l'appareil qui sert à la mesure du temps et par suite de l'accroissement de précision qui en résulte; et cela sans diminuer les proportions des sonneries qu'il s'agit



3600.

surtout, le plus souvent, d'avoir très-fortes, sans l'inconvénient de réactions fâcheuses de ces deux parties de l'appareil mises en rapport par des roues dentées et des vis sans fin.

Dans les dernières grosses horloges célèbres, on a adopté l'échappement à chevilles perfectionné, soit pour éviter les ruptures possibles, soit surtout pour diminuer l'usure, par le perfectionnement dû à M. Vulliamy, habile horloger de Londres, de construire les palettes de l'échappement avec une certaine mobilité, de telle sorte que les chevilles, qui ne peuvent être toutes absolument parallèles entre elles, s'appliquent sans produire d'usure sur des pièces qui, toujours en action, sont les premières usées. L'horloge de Windsor, établie d'après ce système, a donné d'admirables résultats.

Éclairage du cadran des grosses horloges. — M. Doré, du Havre, a trouvé la solution la plus satisfaisante, je dirais presque la plus merveilleuse de ce problème. Grâce à lui, les navigateurs peuvent, de plusieurs kilomètres de distance, voir l'heure que leur indique l'horloge de la municipalité du Havre, avec ses aiguilles de feu, sur un cadran à chiffres ardents Pendant le jour cependant, le cadran de cette horloge n'offre d'autre aspect que des aiguilles et des chiffres blancs très-visibles sur un cadran à fond noir.

Ce merveilleux éclairage, qui fait l'étonnement de tous ceux qui le voient pour la première fois, est basé sur la propriété qu'ont les corps opaques d'arrêter la lumière à son passage, tandis que les corps transparents se laissent traverser.

M. Doré forme son cadran d'un disque de glace sans tain sur lequel il fixe des chiffres découpés dans du verre dépoli ou opaque et maintenus en place par une très-légère sertissure métallique. Les aiguilles sont composées de même. Il place derrière son cadran un écran de velours noir; il installe, dans un plan plus bas que le bord inférieur du cadran, entre l'écran et le cadran un puissant éclairage dont les rayons lumineux sont dirigés vers le ciel; les aiguilles et les chiffres, arrêtant seuls la lumière à son passage, s'illuminent, le cadran transparent se laisse traverser, et, ne faisant voir que l'écran noir, placé derrière lui, reste complétement obscur. Disons pourtant, et pour la faire mieux comprendre, que cette très-ingénieuse manière d'éclairer un cadran n'est praticable que pour des localités où le cadran ne doit être consulté d'aucuns points culmi-

nants, car, pour ces points, les rayons éclairants arriveraient directement du foyer d'éclairage à l'œil de l'observateur, et il ne pourrait plus y avoir de différence entre les aiguilles et le fond du cadran devenu, lui aussi, lumineux.

La durée d'éclairage d'un cadran doit égaler celle de la nuit, elle est donc variable, et plus longue en hiver qu'en été. Pour dispenser un surveillant de la double obligation d'allumer et d'éteindre quotidiennement, au moment convenable, l'appareil d'éclairage de l'horloge de Douvres, le bec de gaz, dont le robinet est établi de façon à ne pouvoir être jamais complétement fermé, reste constamment allumé; c'est l'horloge même, qui, par une courbe tracée suivant les moments du lever et du coucher du soleil pour la position de Douvres, manœuvre le robinet, l'ouvre complétement quand la nuit arrive, le ferme assez pour réduire le bec de gaz à l'état de veilleuse quand le jour reparaît.

3. *Pendules pour l'usage civil.*

Nous regrettons que l'étendue déjà considérable de cet article, vu la nature encyclopédique de cet ouvrage, ne nous permette pas d'entrer dans une étude détaillée de ce genre de construction, dont l'importance industrielle est très-grande, si la nécessité du bon marché force à se contenter d'une précision assez minime. Tout le monde sait que les mouvements de ces pendules sont tout à fait ceux des horloges, sauf que les poids moteurs sont remplacés par des ressorts moteurs enroulés dans des barillets, et par suite leur étude n'offre pas une application nouvelle des principes exposés.

4. *Chronomètres.*

Nous avons consacré un article spécial à ces importants appareils; nous n'avons pas à y revenir ici.

5. *Montres.*

Bien des inventions se sont succédé pour perfectionner les montres, ce qu'explique l'importance de l'industrie qui s'occupe de leur fabrication qui, en Suisse, à Genève surtout, a pris un admirable développement.

A. Bréguet classe toutes ces inventions sous trois divisions qui nous semblent précieuses à conserver :

1° Inventions de formes, de dispositions plus ou moins agréables, commodes ou séduisantes. Ces inventions ne produisent que des avantages commerciaux, donnent de l'activité aux ateliers momentanément, enrichissent quelques artistes, mais sans accroître en rien ni leur art ni leur réputation;

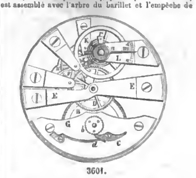
2° Inventions profitant à la solidité, c'est-à-dire de moyens qui font que les produits durent plus longtemps, sont moins sujets à se détruire par l'usage, que les accidents sont moins dispendieux à réparer, etc. Les inventions de ce genre restent et enrichissent l'art;

3° Inventions qui augmentent l'exactitude de la marche de la montre, qui combattent plus de causes d'irrégularité, telles que changements de température, variations du frottement, l'agitation et la diversité des positions, etc. Ces inventions forment la grande richesse de l'art, lui font faire des progrès pour atteindre son but le plus important, l'exacte mesure des temps.

Montres à échappement à cylindre. L'échappement à cylindre qui demande peu de hauteur a remplacé l'échappement à palettes, et, en donnant une précision plus grande, a permis, en augmentant la longueur du ressort moteur, de supprimer la fusée, qui, dans la pratique, pour les ouvrages à bas prix, était aussi souvent cause d'irrégularité que de régularité. C'est à Lépine et à A. Bréguet que l'on doit les formes de constructions simples et élégantes qui constituent les montres plates, auprès desquelles les anciennes paraissent lourdes et disgracieuses.

La figure 3601 présente le mouvement d'une montre moderne vue par-dessus. On voit que la platine supérieure n'existe plus et que les axes des roues sont maintenus par la platine inférieure d'une part, et de l'autre par des ponts montés sur cette platine.

B est le barillet renfermant le ressort moteur et portant 80 dents, son axe est guidé par le pont C. Le rochet *b*, maintenu par un doigt pressé par le ressort *d*, est assemblé avec l'arbre du barillet et l'empêche de



3601.

retourner en arrière lorsqu'on remonte le grand ressort à l'aide du carré placé au centre.

La grande roue moyenne D est la plus élevée de toutes. Son axe est porté par le pont E, qui traverse complétement la montre et forme un assemblage solide. Le pont L reçoit le pivot supérieur du balancier et porte la raquette *m n*, qui tourne à frottement doux autour de ce pivot. Le spiral fixé en *r* est, en outre, passé entre deux chevilles placées en *e* à l'extrémité de la raquette; le contact de ces chevilles détermine la longueur du ressort spiral qui vibre; et, par suite, permet d'obtenir ainsi les corrections que la marche de la montre ferait désirer.

Le pivot de la roue d'échappement roule dans le pont K, et le cylindre est sur l'axe même du balancier.

Une des conditions essentielles de la régularité des montres, le moyen le plus certain de les rendre peu impressionnables à tous les petits accidents qu'elles peuvent éprouver dans l'usage civil, consiste à donner une vitesse assez grande au balancier. Dans le système représenté dans la figure, il est facile de calculer que le nombre de ses vibrations s'élève à 18,000 par heure. En effet, le barillet B a 80 dents; la grande roue moyenne D a 64 dents; son pignon (monté sur le même axe et qui engrène avec le barillet) a dix ailes; la petite roue moyenne F a 60 dents, son pignon 8 ailes; la roue de champ H a pareillement 60 dents, son pignon 8 ailes; enfin la roue d'échappement a 15 dents et son pignon 6 ailes.

On peut donc représenter les rouages par le tableau suivant :

$$\begin{array}{llll} 80 - 10 & & & \\ & 64 - 8 & & \\ & & 60 - 8 & \\ & & & 60 - 6 \\ & & & 15 \end{array}$$

ce qui donne bien le rapport $\frac{8\times8\times6}{64\times60\times60\times15}=\frac{1}{9000}$ pour une vibration, ou 18000 simples pour un tour de l'axe des minutes.

Les montres que le commerce produit en plus grand

nombre sont toujours des montres à cylindres; la Suisse, centre principal de fabrication, en fait peu d'autres; la France également. En Angleterre on fabrique de préférence des montres avec l'échappement à ancre.

Des variétés nombreuses de formes, de grandeurs, se rencontrent dans le commerce, depuis des montres cachées dans un bracelet, dans lesquelles les organes arrivent à des proportions microscopiques, jusqu'à des montres dites demi-chronomètres, dans lesquelles les organes sont dans les conditions du meilleur fonctionnement.

Montres sans clef. — Une invention assez récente, que la consommation a accueillie avec assez de plaisir, consiste dans la suppression de la clef qui sert à remonter, ou plutôt dans l'emploi, dans ces montres sans clef, du *pendant* de la montre pour remonter le ressort, en faisant tourner l'axe du barillet à l'aide de roues d'angles.

Nous décrivons ici la disposition employée dans la maison Bréguet, et qui en même temps permet de remettre les aiguilles à l'heure par le même bouton qui sert à monter le ressort, difficulté de cette construction.

La figure 3602 représente la remise à l'heure au

3602.

repos, c'est-à dire dans la position qu'elle occupe quand la montre marche.

A, pignon de remise à l'heure fixée sur la tige de remontoir H.

b, roue de remise à l'heure.

cc, renvoi intermédiaire engrenant avec *b* et porté par une bascule qui a son centre de mouvement en *d'*.

ee', ressort fixé sur la platine en *e'*, et dont la tête en forme de sautoir appuie contre la bascule D près de *e* et la maintient en place.

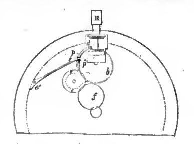
f, renvoi de minuterie.

n, pignon de remontoir fixé sur la tige H.

i i', deux gorges ou entailles pratiquées sur la circonférence de la tige H, et qui reçoivent le bec d'un ressort (pas figuré) qui maintient en place la tige en appuyant dans l'une ou l'autre entaille, selon que le remontoir ou la remise à l'heure est en prise.

Lorsque l'on veut remonter la montre, on s'assure que le bouton B est bien poussé à fond; alors le pignon *n* engrène dans une roue placée sur l'arbre du barillet, soit directement, soit par renvoi, suivant l'emplacement, puis on tourne le bouton de gauche à droite jusqu'à ce que l'on éprouve un arrêt.

Lorsque l'on veut remettre les aiguilles à l'heure, on tire en dehors le bouton B dont la tige est alors retenue par un ressort qui entre dans la gorge *i*; le pignon A de remontoir, suivant le mouvement de recul de la tige, vient appuyer sa face contre le bec de la bascule (fig. 3603), la repousse en arrière et fait passer le plan incliné ou dent du bras de la bascule sur le plan opposé du sautoir *e*; ce ressort étant convenablement



3603.

bandé continue le mouvement de la bascule et fait engrener le renvoi intermédiaire *c* avec la roue de minution *f*.

La tige H continue son mouvement jusqu'à ce que le ressort appuyant dessus ait trouvé la seconde gorge *i*, engage alors les dents du pignon A dans les dents de la roue de champ *b*: l'appareil est alors dans la position que nous montre la figure 3603, c'est-à-dire la minuterie en prise avec la mise à l'heure.

Pour opérer le dégagement de la minuterie, on fait rentrer, en la poussant, la tige H jusqu'à ce que le ressort, retrouvant la gorge *i*, arrête cette tige.

Le pignon A, en suivant le mouvement de la tige, se dégage des dents de la roue *b* avant que la bascule ait commencé son mouvement, et ce n'est que quand le pignon de remontoir *n* vient appuyer derrière l'extrémité de la bascule en *d'*, que celle-ci commence le dégagement du renvoi intermédiaire qu'elle porte; le pignon *n* la conduit jusqu'à ce que le sautoir ait passé sur la dent opposée de la dent de bascule *e*; le sautoir achève alors son mouvement et la maintient à sa place, appuyée contre l'une des goupilles *pp* qui limitent son mouvement.

Les fig. 3604 et 3605 représentent la bascule D dans



3604. 3605.

ses deux positions; elle est au repos (fig. 3604) et elle est en prise pour la remise à l'heure (fig. 3605).

La roue de remise à l'heure étant parfaitement libre (quand la remise à l'heure n'est pas engagée) et la bascule faisant engager la roue de renvoi *cc* dans la minuterie, avant que le pignon A arrive dans les dents de la roue *b*, il s'ensuit que les aiguilles ne peuvent être déplacées par l'engagement du renvoi, dans le cas où les engrenages ne se présenteraient pas dans de bonnes conditions, parce que la chaussée offrant suffisamment de résistance, la roue de minuterie fera tourner les roues de remise à l'heure *b* et *cc'*, si un plein du renvoi *cc'* rencontrait un plein de la roue de minuterie *f*, quand la bascule, par son mouvement de rotation autour du centre *d'* fera engager le renvoi *cc'*.

Il en est de même quand on opère le dégagement de la remise à l'heure en repoussant le bouton de remontoir. Le pignon A, quittant la roue *b* avant que la bascule ait commencé son mouvement pour dégager la roue *b*, se trouve de nouveau libre et peut obéir s'il est nécessaire au mouvement du renvoi quand le dégagement de celui-ci se fait.

Ce système est employé et exécuté dans les montres à remontoir fabriquées dans nos ateliers, et répond parfaitement au but proposé, savoir :

1° Isoler la minuterie de tout renvoi ou engrenage (autres que les siens propres), qui sont toujours des résistances nuisibles et inutiles, et sont souvent des causes d'arrêt dans les montres où un renvoi est tantôt menant, tantôt mené, et reste toujours engagé avec la minuterie ;

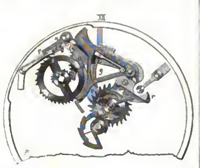
2° Obtenir par un moyen simple et facile un embrayage et désembrayage de remise à l'heure sans que les aiguilles puissent être dérangées dans cette opération.

La maison Bréguet construit toujours des montres qui ne se remontent pas ou plutôt se remontent, étant portées, par l'agitation d'un poids montant le ressort par l'intermédiaire d'un cliquet. A. Breguet a varié souvent et avec grand succès cette ingénieuse disposition.

Montres à répétition. — Le mécanisme des montres à répétition se rapproche tout à fait des sonneries à râteau dont nous avons parlé plus haut.

Nous allons retrouver les principales pièces indiquées, remarquant que le marteau frappe ici sur un ressort circulaire, seule espèce de timbre qu'on puisse employer sur le peu de place dont on dispose.

La pièce courbe o (fig. 3606), dite *tout ou rien*, est noyée



dans l'épaisseur de la platine, sauf près de son centre de rotation *i* placé à sa partie supérieure à droite (une ligne ponctuée montre la place réservée pour le petit mouvement que peut lui faire faire un petit ressort qui la remet en place après qu'elle a été déplacée); le crochet qui la termine sert à dégager le verrou *nq*, comme nous le dirons. Il porte au centre de sa partie courbe l'axe du limaçon des heures et la roue à étoile ; enfin le sautoir de cette roue.

Le râteau ou crémaillère *g* peut, par son extrémité, s'appuyer sur le limaçon des heures *b*, *b*. Elle porte un ressort, dont la tête pénètre dans une cavité pratiquée dans l'angle de la pièce des quarts, près de son centre de mouvement.

Cette pièce des quarts c tourne, comme la précédente, autour du même axe que le *tout ou rien*, au moyen d'un canon. Par son extrémité, elle peut s'appuyer sur le limaçon des quarts n, lorsque le mouvement de la crémaillère lui permet de descendre. La partie dentée n'est pas un râteau proprement dit, mais est destinée seulement à recevoir le verrou *nq*. Cette partie est terminée par une dent plus grosse que les autres.

La roue *e* est le rochet du marteau ; elle porte douze dents pour les heures, plus, à distance, trois doubles dents pour les quarts frappés par les doubles coups du même marteau. Son axe, en tournant, enroule un ressort placé dans un petit barillet, et ce ressort, devenant libre d'agir, ramène le rochet avec rapidité, de manière à faire frapper le marteau. Cette vitesse est régularisée par un rouage de roues et pignons mus par une roue montée sur le même axe que le rochet, et agissant sur un petit échappement à rocul.

La levée, solidaire avec le marteau, est en *t*, entre le verrou et le rochet. Elle porte une dent angulaire attaquée par celles du rochet pour faire lever le marteau. Elle est relevée ou abaissée par l'action de deux ressorts de sens opposés qui agissent ensemble.

Le limaçon des quarts est une pièce plate montée sur l'axe de la roue des heures, et divisée en huit gradins, comme le montre la figure. L'embase, sur laquelle repose son canon, est entaillée pour laisser mouvoir de quelques degrés une courte goupille portée près du centre du limaçon. Il est percé dans l'épaisseur de son deuxième gradin, où il reçoit, à frottement dur, une longue cheville d'acier méplate, qui se prolonge jusque dans une autre entaille étroite faite à la portée du bas de la chaussée, goupille qui fonctionne comme ressort. Une cheville, tournant avec le limaçon, fait tourner, d'une dent à chaque heure la roue du sautoir (l'étoile), comme dans toute répétition à râteau.

Lorsque cet effet a lieu et que le ressort du sautoir agit, le limaçon des quarts reste quelque temps sans mouvement pendant que la chaussée, continuant de marcher, fait effort et met en jeu l'élasticité de la longue goupille du limaçon resté en arrière. Bientôt le limaçon et la chaussée commencent à marcher ensemble; mais lorsque la dent de la roue du sautoir échappe à celui-ci, instant où l'aiguille des minutes arrive vers 60' du cadran, alors le limaçon des quarts, avançant par le ressort de sa longue goupille, récupère l'intervalle dont il était resté en arrière, et présente tout à coup, au bras de la pièce des quarts, son entaille la plus profonde. Ici, l'effet du limaçon est inverse de celui des répétitions ordinaires; le degré le plus élevé fait sonner les trois quarts, et son gradin le plus enfoncé ne donne pas de quarts, parce que la pièce des quarts, lorsqu'elle descend aussi bas, est ramenée par la crémaillère aussitôt la dernière heure frappée, et que la première petite dent sur laquelle le bec du verrou s'appuie par l'accrochement complet du tout ou rien, relève assez le verrou pour faire baisser la levée subitement au dernier coup de l'heure; tandis que si la pièce des quarts se trouve retenue par le plus haut gradin du limaçon, pendant la descente de la crémaillère, c'est sur la dernière petite dent que le bec du verrou se trouve appuyé, et la pièce des quarts, ainsi que cette dent, étant ramenée plus tard par la crémaillère, puisque la pièce des quarts est très-peu descendue, le rochet a eu le temps de faire frapper les trois quarts avant le relèvement du verrou.

Le jeu des pièces étant ainsi indiqué, on comprendra bien l'ensemble des effets d'une répétition, que complique le désir de faire frapper les heures et les quarts par des mécanismes qui se commandent et qu'il faut faire tenir dans un espace minime. Lorsqu'on enfonce le poussoir, la crémaillère, sur laquelle il agit directement, obéit en faisant tourner le pignon et le rochet, et pousse la pièce des quarts jusqu'à ce qu'elle rencontre le limaçon des quarts, puis continue à descendre seule, ce que permet suffisamment l'ouverture trian-

gulaire de la pièce des quarts dans laquelle se trouve le ressort *u*, appuyé, pendant le repos des pièces contre la branche supérieure de la pièce des quarts, par la pression de sa tête contre l'angle de cette pièce, la séparation ne s'effectuant que lorsque celle-ci est appuyée sur son limaçon et y restant par la pression du ressort; enfin le mouvement de la crémaillère continue jusqu'à ce qu'elle atteigne le limaçon des heures.

A ce moment, elle fait reculer le tout ou rien portant le limaçon des heures, dégage le crochet qui maintenait un tenon placé dessous le verrou *nq*, et rend libre le fort ressort de dessous la levée jusqu'alors abaissée par la queue de celui-ci. Ce ressort remonte donc cette levée, malgré la faible opposition du ressort supérieur de force moindre; ce qui met en prise cette levée avec le rochet dont le mouvement rétrograde est alors terminé. La main ayant retiré le poussoir, comme il convient toujours de le faire, le marteau frappe les heures et les quarts, les heures en raison du nombre des dents du rochet, déterminé par la position du limaçon des heures, et les quarts en raison de la position où s'est arrêtée la pièce des quarts. Quand le dernier coup se frappe, ou plutôt auparavant, dès que la patte du ressort *u* a atteint la branche du haut de la pièce des quarts, la petite dent de l'extrémité large de cette pièce a déjà repoussé le verrou suffisamment sur l'entaille du fort ressort du levier pour l'abaisser, de sorte que la levée n'est plus retenue que par l'accrochement de la dernière dent du rochet qui doit faire frapper un dernier coup de marteau, et par la résistance de ce marteau. Il suit de là qu'aussitôt le coup frappé, la levée, n'ayant plus de support en dessous et étant sollicitée par le ressort supérieur, s'abaisse tout à coup au-dessous du rochet, où elle reste jusqu'à ce qu'un nouveau mouvement du poussoir la remette en prise.

6. *Horloges électriques.*

L'électricité fournit, par la rapidité avec laquelle son action se transmet, un moteur doué de propriétés particulières qui paraît *à priori* bien convenir à l'horlogerie pour laquelle il n'y a pas à redouter le défaut capital de ce moteur de se mal prêter à la production de grandes quantités de travail.

Nous avons déjà parlé, à l'article télégraphie, de cette curieuse application de l'électricité, nous compléterons ici ce que nous avons dit à ce sujet en passant en revue les deux modes d'application de cet agent : 1° Emploi de l'électricité comme moteur d'appareil d'horlogerie; 2° Emploi de l'électricité pour transmettre à distance et multiplier à l'infini les indications d'un régulateur.

1° *Emploi de l'électricité comme moteur.* — Le moyen employé avec le plus de succès consiste à utiliser l'électricité à assurer l'isochronisme d'un pendule; ce qui est facile à combiner avec l'action d'un petit poids pour surmonter les résistances de l'air ou autres qui s'opposeraient à la continuation de son mouvement. Le pendule allant de gauche à droite vient établir la communication d'un courant qui, introduit dans un fil qui se dirige sur une minuterie, fera avancer d'une dent une première roue à l'aide d'un levier Lagarousse et d'un électro-aimant. Ce même courant relève une boule placée à gauche par un petit électro-aimant, et cette boule, retombant aussitôt que le courant cesse, restituera au pendule, en s'appuyant sur lui lors de la seconde partie de son oscillation, la force vive qu'il aura pu perdre dans la première partie.

Bien qu'assez parfait en apparence, ce système n'a pas la précision d'un bon régulateur.

Le courant électrique est encore trop mal connu pour qu'on puisse prévoir toutes les causes d'erreur qui peuvent exister dans un semblable appareil.

2° *Transmission à distance de l'heure d'un régulateur.* — J'ai appliqué avec assez de succès à Lyon un système qui se rapproche beaucoup de la télégraphie, à une vingtaine de lanternes à gaz, et à Paris sur le Pont-Neuf. Il consiste à faire reporter sur les cadrans mis en communication avec un fil les mouvements d'un cadran régulateur; ce qui rend facile toute interruption et communication de mouvement déterminé par le pendule du régulateur, de transmettre ainsi par le seul fait de l'établissement du courant, au moyen de l'horloge-type, une rotation d'une seconde ou d'une minute.

Mais ce système d'horloge dont le principe est si séduisant ne peut être employé à de grandes distances, par la raison que les longs conducteurs, placés surtout le long des maisons dans l'intérieur des villes, étant sujets à mille et une causes de perturbation, il y a des contacts en plus comme il y en aurait en moins, et par suite erreur dans les indications.

Je me suis demandé si on ne pouvait atteindre le but proposé d'une manière pratique en employant l'électricité à remettre les horloges à l'heure seulement une fois ou deux chaque jour, par exemple, et, par suite, assurer une concordance de mouvements très-satisfaisants, en employant les mouvements que le commerce fournit à bas prix.

Voici comment j'y suis parvenu.

J'ai au point de départ un régulateur qui n'établit le courant électrique qu'une seule fois ou deux fois au plus en 24 heures pendant quelques secondes, 8 à 10, afin de bien donner le temps aux pièces mécaniques qu'il met en jeu de remplir leurs fonctions. Dans le circuit sont placés des pendules ou horloges ordinaires auxquels j'ajoute le mécanisme suivant :

La grande aiguille des minutes A (fig. 3607) est montée sur la chaussée qui est ajustée sur l'axe *a*. Cette roue de chaussée, comme on sait, est ajustée de manière à ce qu'elle puisse tourner pour pouvoir remettre les aiguilles à l'heure.

Cette roue porte au-dessus un levier A' qui tourne ainsi en même temps que l'aiguille; il est placé de telle sorte qu'il est dirigé de haut en bas quand au contraire l'aiguille A est sur midi.

Deux roues, G et G', de même diamètre et engrenant ensemble, sont placées au-dessus du centre *a*, de manière qu'elles soient toutes deux tangentes à la perpendiculaire qui passe par le milieu de A', au moment de 12 heures.

Ces deux roues portent chacune deux chevilles (g^1, g^2) (g^3, g^4). Ces chevilles sont placées de manière qu'elles doivent en tournant toujours rencontrer A', s'il n'est pas dans la verticale; si A' se trouve vers la gauche ou si la pendule est en avance, les deux roues en tournant, et au moyen de la goupille g^1, mettront l'aiguille sur 12 heures. Si au contraire A' avait été vers la droite, ou la pendule en retard, la goupille g^1 aurait placé A' dans la verticale, ou l'aiguille sur 12 heures.

Les roues G et G' font partie d'un rouage accessoire dont le moteur en G porte sur un axe un chaperon divisé en deux et quatre parties, suivant le nombre en rapport que l'on donne aux diverses roues, un volant R dont le pignon engrène avec la roue du moteur est arrêté par un levier L, dont le grand bras terminé en bec vient tomber dans une entaille du chaperon. Le petit bras C porte une plaque en fer doux au-dessus de piles d'un électro-aimant M.

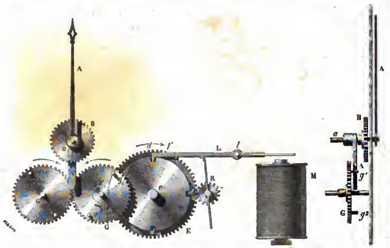
Quand le courant passe, M attire la plaque de fer doux, le volant est dégagé et le rouage tourne jusqu'à ce que le bec *l'*, venant à tomber dans l'entaille suivante à celle où il était, vient arrêter de nouveau la force motrice.

La figure 3608 donne la vue de côté de la minuterie.

On conçoit donc que si ce déclanchement électrique

a lieu tous les jours à midi et que si la pendule que nous venons de décrire n'est pas à l'heure juste, elle sera remise à l'heure par cet effet.

Le jeu du mécanisme, simple comme il est, comporte une erreur de 8 à 10 minutes, supérieure à la variation de la plus mauvaise horloge d'un jour à l'autre.



3608.

Cet effet n'ayant lieu qu'une fois par jour et pendant un temps très-court, l'on conçoit qu'il ne doit jamais être dérangé par les causes atmosphériques, et que d'ailleurs, si cela arrivait ou si la pile venait à faire défaut, cela serait sans nul inconvénient puisque l'horloge doit être assez bonne pour ne pas varier sensiblement d'un jour à l'autre. — On peut donc, avec ce système, faire ce qui est impossible avec l'autre, donner l'heure exactement à toutes les distances sans craindre d'erreur. BRÉGUET.

HOUILLE. *Progrès de l'exploitation.* — A mesure que les moyens de transport intérieur dans les mines se sont améliorés, soit par l'emploi des chevaux, soit par l'usage de plus en plus général des chemins de fer, le champ d'exploitation de chaque puits a pu prendre une étendue plus considérable, et les puits ont pu être d'autant moins multipliés; cela constitue un avantage très-important dans les cas fréquents où l'établissements de ces puits est très-difficile, et forme la majeure partie de la dépense à faire pour la mise en valeur d'une exploitation. Toutefois, il a fallu en même temps accroître les moyens de production de chaque puits, pour continuer à tirer d'un périmètre donné la même production, et pour la développer même au fur et à mesure de l'accroissement de la consommation. Il y a d'ailleurs, au point de vue purement technique, des avantages nombreux et évidents à faire en sorte qu'un champ d'exploitation donné soit exploité le plus promptement possible. Tous ces motifs réunis ont amené ce résultat, que la production journalière des puits a été constamment en croissant. Des puits donnant 500 ou 600 hectolitres ne sont plus aujourd'hui justifiables que dans des circonstances toutes spéciales. La plupart du temps, on tire au moins 1,000 à 1,200 hectolitres avec les moyens les moins perfectionnés. Il est peu de mines, installées d'une manière convenable, dans lesquelles on ne cherche pas à obtenir au moins 1,800 à 2,500, ou même 3,000 hectolitres. Il en est enfin dans lesquelles on tire 5,000, 6,000 et jusqu'à 10,000 hectolitres par jour. Une pareille production suppose naturellement des couches d'une richesse appropriée et surtout d'une allure bien régulière, et des moyens puissants d'extraction. Quant à la profondeur, c'est en réalité un des éléments les moins importants ; il arrive même souvent que ces puits à production exceptionnelle sont en même temps au nombre des plus profonds, et cela s'explique par cette profondeur même, qui, forçant à en restreindre beaucoup le nombre, conduit à outiller chacun d'eux de manière à lui faire rendre le plus possible. La première condition d'un semblable outillage est un moteur d'une force suffisante. Au lieu de ces anciennes machines de 10 à 15 chevaux, quelquefois 30 à 40 au plus, on monte aujourd'hui des machines de 60, 80, 100, 150 chevaux et au delà. Aux tonneaux ou cuffats si lourds et si encombrants, que l'on remplissait aux accrochages et que l'on vidait à la recette supérieure en les faisant basculer, on substitue des cages guidées, lesquelles reçoivent et amènent au jour les wagons ou bennes à roulettes qui vont chercher le charbon à la taille, et le conduisent sans aucun transbordement jusqu'au magasin ou au point de chargement. Cette disposition, toute simple qu'elle puisse paraître à imaginer, n'en doit pas moins être regardée comme un immense progrès au point de vue de la célérité du service, de l'économie de main-d'œuvre et de la conservation du matériel, comme à celui de la réduction des déchets sur le gros charbon et de la facilité du contrôle sur le travail des ouvriers mineurs.

En résumé, un bon outillage de puits d'extraction comprend aujourd'hui :

En premier lieu, une machine à vapeur dont la force est calculée très-largement, de manière à suffire à toutes les éventualités du service le plus actif que

puisse comporter la richesse des couches à exploiter. Cette machine sera généralement à deux cylindres accouplés, ce qui, en évitant les points morts et dispensant d'un volant, permet de faire avec une grande facilité toutes les manœuvres de changement de marche nécessaires.

Les cylindres pourront d'ailleurs être fixes ou oscillants, verticaux ou horizontaux; mais les cylindres fixes et horizontaux, faciles à établir dans d'excellentes conditions de stabilité, obtiendront souvent la préférence, surtout quand les machines ne devront pas être très-puissantes.

La manœuvre do changement de marche se fera très convenablement au moyen de la coulisse Stephenson.

Dans les très-grandes machines, on pourra avoir un petit cheval pour le jeu de cette coulisse.

Les deux bielles attaqueront directement l'arbre des tambours ou bobines, ce qui, en supprimant des engrenages, simplifie tout le système et évite des chances d'accident.

Les tambours, ou bien un volant léger placé sur le même arbre, recevront un frein puissant qui fonctionnera par la pression même de la vapeur, admise au moyen d'un robinet placé à la portée du machiniste. Enfin, ces tambours seront disposés pour des câbles plats de préférence à des câbles ronds, qui, à résistance égale, sont moins flexibles et ont moins de durée.

Ces câbles, pour des puits profonds, pourront être à section décroissante, depuis le point d'attache sur la bobine jusqu'à l'autre extrémité, afin d'obtenir une résistance proportionnée à la charge dans les différents points, avec le moins de poids et de matière possible.

En second lieu, on établira un système de cages convenablement guidées pour recevoir les wagons venant des tailles. On peut dire d'une manière générale que ce système devra être employé à l'exclusion des tonnes sur tous les puits où une circonstance particulière, telle qu'une section insuffisante du puits, ne le rendra pas absolument impossible; enfin, comme complément utile dans tous les cas, et principalement lorsque les cages doivent servir à l'entrée et à la sortie des ouvriers, on emploiera des dispositions propres à arrêter les cages dans le puits si le câble vient à se rompre. (Voy. PARACHUTE.)

HUILE DE SCHISTE. L'industrie des huiles de schiste n'est pas nouvelle : dès 1823, M. Bergounioux, de Clermont-Ferrand, avait pensé à obtenir divers produits par la calcination, en vases clos, des schistes bitumineux dont un gisement assez considérable existe aux mines de Menat, dans le même département : il en retirait un charbon décolorant, des liquides ammoniacaux, des corps gras; mais son attention s'était surtout arrêtée sur les deux premières substances; il ne pressentait pas encore comment on pourrait tirer parti des produits huileux.

En 1824, MM. Chervan frères, de Dijon, ont pris un brevet d'invention pour un procédé propre à extraire, par la *distillation des roches qui en contiennent*, un liquide propre aux arts, et spécialement à l'éclairage, à la composition du vernis et à la production du gaz hydrogène.

MM. Chervan avaient principalement pour but, dans leur description, le traitement des schistes bitumineux de Saône-et-Loire, et, tout en indiquant la possibilité de l'emploi direct de ces huiles à l'éclairage, ils ne donnent aucune notion sur les moyens de les préparer, de manière à ce qu'on puisse en obtenir une combustion convenable.

Les travaux de leur usine n'avaient cependant rien de stable, et ce ne fut qu'en 1827 que le petit bourg d'Igornay, aux environs d'Autun, vit établir la première usine dans laquelle on procédât régulièrement à l'extraction de l'huile de schiste.

En 1832, MM. Blum et Moneuse, dans cet établissement, commencèrent à opérer la séparation des divers produits oléagineux qu'ils obtenaient, à l'état de mélange, par une première distillation à laquelle ils soumettaient la matière brute; leurs procédés d'épuration, consignés dans leur brevet du 17 novembre de cette même année, tout imparfaits qu'ils soient, ont néanmoins servi de base à la plupart des procédés employés depuis cette époque, à laquelle on peut faire remonter la pensée de faire servir les liquides extraits à l'éclairage direct.

Leurs essais industriels sont loin d'avoir été couronnés d'un succès immédiat, et M. Selligue, qui devint plus tard possesseur des usines de MM. Blum et Moneuse, dans les environs d'Autun, ne parvint pas de suite à faire brûler ces huiles dans des lampes.

Autun est encore le siége principal de cette industrie, et, avant de jeter un coup d'œil sur les moyens qu'elle met en œuvre, il ne sera pas inutile de nous arrêter un instant sur la matière première elle-même.

La pierre de laquelle on retire l'huile, à Autun, est un schiste presque noir, assez pesant, dont la plupart des échantillons se réduisent assez facilement en plaques minces, surtout lorsqu'ils ont été exposés pendant quelque temps aux influences atmosphériques.

Cette pierre ressemblerait à l'ardoise, si elle était moins noire et plus légère; mais elle est d'une formation géologique beaucoup plus récente; elle accompagne, ou plutôt elle se trouve superposée aux houilles de qualité souvent médiocre que renferme cette localité.

L'abondance en est très-grande à Autun, et il n'est pas un des nombreux cours d'eau qui s'échappent des montagnes voisines qui n'en rencontre quelque gisement sur son passage, et qui n'en charrie les débris à de grandes distances; leur inaltérabilité est telle que, même dans l'eau, les parcelles les plus minimes se conservent intactes pendant de longues années. Les gisements jusqu'ici reconnus et exploités sont superficiels, souvent d'une grande puissance en profondeur, et jusqu'à vingt ou trente mètres.

Le délit de cette roche est parfaitement marqué, et comme elle résiste plus facilement que les roches environnantes, c'est chose assez curieuse que de voir de grands espaces presque entièrement dallés avec cette pierre noire en grandes plaques, présentant souvent une inclinaison assez faible.

Cette matière si inaltérable malgré son peu de dureté, et cette inaltérabilité qui, sans doute, est due aux matières bitumineuses qui entrent dans sa composition, est encore très-remarquable à d'autres titres; elle renferme peu d'empreintes végétales, alors que les schistes houillers proprement dits en sont pour ainsi dire remplis, et offre au contraire une multitude d'empreintes de poissons la plupart du temps représentés par des écailles disséminées; mais souvent aussi et dans quelques gisements surtout ces poissons sont entiers, avec leur queue et leurs nageoires; rien n'est déformé, si ce n'est la tête dont les éléments sont, la plupart du temps, méconnaissables.

Dans un chemin creux, voisin d'Igornay, à Mere, on ne trouve, pour ainsi dire, que du schiste, et l'on n'en saurait briser un morceau sans y rencontrer une empreinte animale.

On ne peut douter cependant que cette formation schisteuse ne soit presque contemporaine de la formation houillère, car des schistes semblables existent, en petite quantité il est vrai, au toit de l'une des couches de la houillère d'Épinac, et, dans la houille comme dans le schiste, on retrouve ce fer carbonaté en rognons, dit minerai de fer des houillères qui est si rare

en France, et auquel l'Angleterre doit une partie de sa prospérité.

Autun est situé dans un immense entonnoir, formé de toutes parts par les montagnes du Morvan, qui ne laissent absolument passage qu'à la rivière de l'Arroux qui reçoit, en définitive, toutes les eaux, quelquefois fort abondantes, qui tombent au milieu de cette ceinture de montagnes : le tiers au moins de cet espace est formé de terrain qui recèle des schistes bitumineux, bien que d'une manière discontinue et en amas isolés, qui ne forment qu'une minime partie de la superficie totale.

C'est presque, en France, le seul gisement important de cette matière, et encore bien que beaucoup d'autres localités renferment de puissantes mines de schistes bitumineux d'une formation beaucoup plus moderne, ces schistes n'ont pu jusqu'ici être employés à la fabrication d'huiles propres à l'éclairage.

Et ce qu'il y a de très-remarquable à cet égard, c'est que cette matière, si abondante à Autun, soit déjà très-rare et presque exceptionnelle dans le bassin houiller de Blanzy, qui n'est séparé de celui d'Autun que par quelques montagnes de granit. On n'y trouve presque partout que le schiste houiller ordinaire, qui y affecte cependant un caractère un peu différent. A cette fameuse mine de Saint-Bérain, par exemple, si célèbre par certaines infortunes que tout le monde se rappelle, la texture du schiste est littéralement formée de débris de roseaux, tout aussi rapprochés que le sont les tiges végétales dans une botte de foin.

Dans une autre localité, aux environs de Montet-aux-Moines, dans l'Allier, des schistes bitumineux moins abondants, mais plus riches en bitume, présentent sur une assez grande surface un caractère un peu différent de ceux d'Autun, avec lesquels ils contribuent déjà depuis plusieurs années à fournir des huiles propres à l'éclairage. Là, les schistes sont de véritables dalles, et, sous le nom d'elivandes, sont depuis longtemps employés à divers usages. Taillés en plaques minces, et de toutes dimensions, qui s'élèvent quelquefois jusqu'à 8 ou 10 mètres carrés pour une seule dalle, ils sont fort recherchés pour cet usage, et les débris de la taille sont employés au chauffage des habitants pauvres de la localité; car, par la grande proportion de bitume qu'ils renferment, ces débris sont jusqu'à un certain point propres à entretenir le feu, surtout si on les mélange avec la mauvaise houille des environs.

Telle est cette matière qui ne se trouve réellement dans cet état que dans les deux localités que nous venons de désigner, ou, si on la rencontre ailleurs en petite quantité, toujours est-il qu'aujourd'hui encore elle n'y est point exploitée.

Dans la description de son brevet du 14 novembre 1838, M. Selligue indique les procédés d'épuration qui lui paraissent les plus convenables, et classe ainsi les matières utiles qu'il était parvenu à isoler les unes des autres :

1° Huile brute, propre à la fabrication du gaz;

2° Huile rectifiée, propre à la combustion dans des lampes;

3° Goudrons susceptibles des mêmes applications que les goudrons végétaux ;

4° Graisse minérale dont l'emploi n'est pas encore bien défini.

Jusqu'alors le produit le plus important consistait en cette huile brute que M. Selligue employait à carburer le gaz hydrogène qu'il produisait par la décomposition de l'eau dans son usine des Batignolles, et une partie servait également à l'usine à gaz de Dijon.

Ce fut seulement à l'exposition de 1839 que les produits de M. Selligue se présentèrent avec quelque importance, et l'on y remarquait déjà, quoique en petite quantité, quelques échantillons de parafine, substance grasse d'un blanc parfait, plus transparente que le blanc de baleine, qu'il obtenait, comme les précédentes, du traitement des huiles brutes obtenues par la distillation en vases clos des schistes bitumineux.

Mais M. Selligue recherchait peut-être trop ces produits accessoires de faible importance, parmi lesquels nous pourrions encore citer une matière colorante assez riche, et son esprit aventureux ne se bornait pas volontiers à la seule fabrication des produits réellement industriels : l'huile d'éclairage est encore la seul de ces produits qui soit franchement entré dans la consommation.

La matière première, le schiste, n'est exploitée jusqu'ici qu'à ciel découvert, et la résistance de cette matière, dans toute autre direction que celle du délit, ne permettra peut-être jamais de songer à un autre mode d'exploitation. A l'aide de coins et de leviers, on la débite généralement en plaques de cinq à dix centimètres d'épaisseur, et de toutes dimensions dans les autres sens. Cette dimension est assez indifférente, puisque les plaques sont destinées à être cassées en fragments plus petits encore que ceux qui servent à l'entretien de nos routes; ce cassage s'opère comme à l'ordinaire à l'aide de petites masses, et il importe qu'il soit effectué à couvert; l'excès d'humidité pourrait nuire au rendement dans les opérations suivantes, et notamment dans la première de toutes, la distillation en vases clos.

Cette opération consiste en une véritable distillation dans des cornues de fonte d'un grand volume, qui s'élève quelquefois jusqu'à un mètre cube pour chacune.

Un grand nombre de dispositions ont été proposées; mais celle qui paraît jusqu'ici préférable avec le chauffage à feu nu, et c'est la seule qui ait donné de bons résultats en pratique, est celle-ci : Six cornues semblables sont placées verticalement dans un même fourneau carré, portant à ses quatre angles quatre foyers différents, alimentés avec de la houille en général d'assez médiocre qualité, parce qu'il se trouve que c'est celle-là que l'on rencontre aux environs des schistières : les produits des quatre foyers qui agissent simultanément se rendent dans une cheminée unique, et des carneaux sont convenablement disposés pour que la flamme circule autour de toutes les cornues et y maintienne une température uniforme.

Les cornues, de forme cylindrique, sont placées verticalement et portent, haut et bas, de larges ouvertures par lesquelles s'opèrent le chargement et le déchargement; des appendices métalliques, sous forme de cloisons, partant des parois métalliques extérieures, et sont destinées à porter la même température jusqu'au centre de la masse, malgré le peu de conductibilité pour le calorique de tous les petits fragments de schiste qui composent le chargement, et un tuyau central maintenu libre sert à recueillir les produits gazeux et les vapeurs huileuses qui se forment pendant la distillation. Ce sont ces vapeurs qui, conduites dans des barillets convenablement placés et suffisamment refroidis, s'y condensent sous la forme liquide, et constituent, avec les produits ammoniacaux qui les accompagnent, les éléments véritablement utiles de la fabrication.

Malheureusement le rendement est assez peu considérable sur les meilleurs schistes, qui, en Saône-et-Loire surtout, varient beaucoup d'un lieu à un autre, souvent aussi suivant les couches dont ils proviennent. Telle couche est même si pauvre qu'il faut renoncer à l'employer.

Lorsque les feux sont bien actifs, douze heures suffisent pour effectuer une opération à laquelle succède, sans interruption, une opération nouvelle.

C'est déjà une difficulté que d'obtenir, à une température élevée, une obturation complète pour de grandes

ouvertures, de manière à éviter toute déperdition de gaz : on y est arrivé cependant en employant pour chacune de ces ouvertures deux couvercles superposés entre lesquels on dispose une couche de terre glaise, d'un retrait aussi faible que possible, et en pressant ces couvercles l'un sur l'autre au moyen de brides et de vis de pression, comme dans les cornues à gaz ordinaire. On peut ajouter encore à la sécurité que présentent ces clôtures, en rendant un peu conique à l'intérieur la tubulure qui reçoit les couvercles, de sorte qu'à mesure que la terre se dessèche et que la plaque qu'elle forme se rétrécit, les vis de pression la font parvenir à des largeurs d'ouvertures successivement plus petites. Ce mode de clôture, étant parfaitement efficace, pourra recevoir plus d'une application, et l'on va comprendre comme il se prête à la facilité du renouvellement des opérations.

Quand la distillation est terminée, ce que l'on reconnaît à la petite quantité de liquide qui vient se condenser dans les barillets, on enlève les couvercles inférieurs qui sont en dehors de la maçonnerie et qui sont placés sur des tubulures qui débouchent toutes sous une petite voûte qui traverse le fourneau au-dessous des cornues : une petite voiture en tôle reçoit les résidus solides de la distillation qui tombent par l'ouverture, et s'il arrive que, par suite du tassement, il en reste dans la cornue, on les fait tomber facilement avec un ringard.

Aussitôt qu'une cornue est déchargée, la voiture part, et l'ouvrier qui a suivi cette opération la referme comme précédemment, en replaçant les couvercles, la terre, ainsi que la bride et la vis qui servent à presser tout ce système de clôture.

Un signal convenu avertit les ouvriers placés sur le fourneau que tout est remis en place : ils enlèvent alors les couvercles supérieurs en desserrant la vis et en les ébranlant ; s'il arrive que de légers chocs ne suffisent pas, on les mouille un peu avec de l'eau froide, ils se contractent par le froid et se détachent aussitôt. Des manœuvres sont là tout prêts à engouffrer, dans la cornue ouverte, le schiste cassé nécessaire pour le remplir dans ses différents compartiments ; ce remplissage se fait en un instant, et, les couvercles étant remis en place, cette cornue travaille de nouveau, la double opération du chargement et du déchargement n'ayant pas duré plus de dix minutes.

Comme les tuyaux d'amenée des vapeurs dans les barillets plongent toujours dans le liquide que ces barillets contiennent, les autres cornues continuent à distiller pendant que l'on procède au rechargement de l'autre : on effectue successivement la même opération pour chaque cornue, et bientôt chacune d'elles envoyant son contingent dans les barillets dont le trop-plein se vide à l'extérieur, on voit par la grosseur du jet si l'opération marche bien ou mal, si le feu est conduit convenablement.

Quant aux gaz non condensables, une sortie leur est ménagée après qu'ils ont barboté dans le liquide des barillets, et ils vont se perdre par un conduit incliné qui traverse, pour plus de sûreté, un réservoir d'eau froide, le réservoir même qui renouvelle constamment l'eau froide dans lequel les barillets sont plongés.

Trois produits différents sont donc obtenus : 1° les résidus solides de la distillation ; 2° les produits liquides qui, à cause de la différence des densités, se séparent d'eux-mêmes en deux couches, l'une inférieure, uniquement formée d'eau ammoniacale ; l'autre qui surnage est l'huile brute.

Cette huile brute est grasse au toucher, d'un vert olive lorsqu'on la voit par réflexion, d'un brun assez foncé au contraire lorsqu'on la place entre l'œil et la lumière ; peu de corps, dans leur état naturel, présentent ce phénomène de double couleur d'une manière aussi marquée. Cette huile, c'est un mélange de plusieurs substances contenant toutes beaucoup d'hydrogène et de carbone, qui le constituent en presque totalité ; ce sont, pour employer le langage chimique, de véritables hydrocarbures, comme la plupart des essences, comme le gaz d'éclairage lui-même lorsqu'il est dans un très-grand état de pureté.

Parmi ces hydrocarbures, les uns, s'ils étaient isolés, seraient solides à la température ordinaire, comme cette parafine dont nous avons déjà dit un mot en passant ; d'autres auraient la consistance du goudron, d'autres celle de la graisse ; d'autres enfin, et ce sont ceux-là surtout qu'il faut isoler sans déperdition, sont de véritables essences d'une limpidité parfaite ; il n'est aucun liquide usuel qu'on puisse leur comparer sous ce rapport ; mais malheureusement aussi, comme les essences, ils ont une odeur souvent insupportable et qu'il faut autant que possible éviter.

La séparation de ces produits divers, qui, sous l'action de la chaleur, se transforment en d'autres produits analogues avec la plus grande facilité, ne laisse pas que d'être une opération délicate que l'action de l'air sur certains d'entre eux vient encore compliquer ; et cependant c'est par des distillations successives, après quelques réactions préparatoires, que cette séparation a lieu, non pas sans doute d'une façon aussi économique qu'on pourrait le désirer, et non sans éprouver en partie quelques-unes de ces faciles transformations, mais enfin d'une manière assez satisfaisante pour obtenir de 30 à 40 pour 100 de ce liquide dont la flamme est si belle et qui a d'abord appelé notre attention. Un peu d'acide sulfurique concentré, agité avec le liquide brut, se précipite ensuite avec le goudron et décolore beaucoup toute la masse, dont un lavage alcalin diminue encore la coloration. Sans ces précautions indispensables, la rectification s'opérerait mal ; les premières portions qui sortiraient de l'alambic seraient encore d'une assez belle nuance ; mais une certaine quantité de goudron ou d'huile résinifiable qui aurait été distillée en même temps ne tarderait pas à se colorer sous l'action de l'air, et ce liquide, parfaitement blanc aujourd'hui, reprendrait de lui-même en peu de temps une teinte qui pourrait aller jusqu'à celle d'un vin peu coloré. Quand, au contraire, les opérations préliminaires ont été faites avec soin et rapidité ; quand surtout on a pris la précaution de ne pas pousser les distillations trop loin, deux de ces distillations suffisent pour obtenir un liquide parfait, et ces rectifications peuvent s'opérer à très-peu de frais dans un alambic ordinaire, dont le service n'exige pas même une grande quantité d'eau froide autour du serpentin, parce que ces vapeurs d'essence, en se condensant à l'état liquide, échauffent assez peu les appareils, beaucoup moins, par exemple, que s'il s'agissait d'une égale quantité de vapeur d'eau.

A chaque distillation il reste un résidu plus ou moins visqueux que nous retrouverons dans les produits accessoires : on donne le nom d'huile légère à celle qui est destinée à l'éclairage dans les lampes.

Cette huile, en effet, ne doit pas peser plus de 800 à 830 grammes par litre pour être d'un bon usage ; si la distillation a été poussée plus loin, le produit contient toujours une portion d'huile résinifiable qui se résinifie au contact de l'air, soit dans les vases qui le contiennent, soit même pendant la combustion ; et la résine ainsi formée, quoiqu'en proportion très-minime, ne pouvant se volatiser comme l'huile légère, imprègne la mèche, la durcit et lui fait bientôt perdre sa capillarité, en même temps que son extrémité se carbonise, tandis qu'avec des huiles convenables ce dernier effet est très-peu marqué, et qu'une mèche pourrait servir plusieurs jours sans être rafraîchie.

L'huile, telle qu'elle se trouve aujourd'hui dans le

commerce, a encore une odeur empyreumatique assez désagréable, beaucoup moins cependant que les hydrocarbures de la houille, qui entrent à l'état de mélange avec l'alcool et l'essence de térébenthine dans ce liquide connu sous le nom d'hydrogène liquide, dont l'emploi n'est pas sans danger; l'huile de schiste ne présente pas les mêmes dangers d'inflammation, et l'on ne saurait même parvenir à l'allumer par l'approche d'un corps en ignition, si elle n'était disséminée comme dans la mèche d'une lampe.

Nous ne saurions attacher une grande importance aux procédés par lesquels on prétend enlever complétement l'odeur de l'huile de schiste; ceux dont nous avons pu examiner les résultats consistent plutôt en des moyens de déguiser cette odeur qu'en opérations dont la véritable industrie puisse tirer un parti utile. Distinguons toutefois : il n'arrive que trop souvent que les huiles provenant d'un premier traitement mal conduit, et obtenues à une température trop élevée, sont chargées d'une odeur étrangère assez analogue à l'odeur de la créosote, et qui n'est pas leur odeur *essentielle* propre (voy. HYDROCARBURES). Cette odeur étrangère, il faut attacher le plus grand prix à ne pas la produire, et l'on conçoit qu'il soit même possible de s'en débarrasser; quant à l'odeur propre de l'huile de schiste, on ne saurait l'enlever qu'en dénaturant l'huile elle-même, qu'en la transforment en un autre hydrocarbure moins odorant; mais ces produits sont si fugaces, ils se transforment si facilement en d'autres produits du même genre, qu'il vaut mieux, quant à présent du moins, ne pas s'exposer à des déceptions pour réaliser une amélioration importante sans doute, mais en l'absence de laquelle l'huile n'en est pas moins assez recherchée pour que tous les produits soient facilement vendus aussitôt qu'ils sont fabriqués.

On ne pourra compter sur des améliorations sérieuses à cet égard que quand les procédés d'extraction seront assurés d'une température parfaitement régulière dans toute la masse soumise à la distillation; c'est en effet cette constance de température qui est par-dessus tout désirable, car c'est là l'élément dominant pour extraire tel ou tel hydrocarbure, et si la température était parfaitement égale, on pourrait peut-être obtenir exclusivement celui d'entre eux qui aurait le moins d'odeur; l'emploi de la vapeur d'eau surchauffée réalisera sans doute à ce point de vue une amélioration considérable, car elle est le moyen le plus assuré de régler parfaitement la température de production qui, dans les foyers ordinaires, est variable suivant le plus ou moins d'activité du feu, et qui ne saurait jamais se communiquer suffisamment jusqu'en centre, pour que toute la masse soit également chauffée. La fabrication par la vapeur surchauffée a été, en effet, montée avec succès à Autun.

Les essences, comme on sait, se prêtent difficilement à une combustion complète : leur richesse en carbone fait qu'elles fument facilement, et elles seraient, sous ce rapport, essentiellement propres à fabriquer du noir de fumée; aussi faut-il prendre quelques précautions de plus qu'avec le colza; pour que chaque lampe n'en soit pas une petite usine, il faut, de toute nécessité, faire arriver l'air plus régulièrement et en plus grande abondance autour de la flamme.

Aussi les dispositifs de tous les constructeurs de lampes ont-ils eu pour but de satisfaire à cette condition. Il va sans dire que la lampe à double courant d'air, la lampe d'Argant, a dû être le point de départ commun de tous ces dispositifs; car, dans cette lampe, l'air arrivant à l'extérieur de la flamme, et aussi à son centre par un conduit spécial que la mèche entoure, la flamme se trouve en quelque sorte emprisonnée entre deux lames d'air, dont l'oxygène agit sur toutes les parties volatiles qui se sont dégagées dans la première action d'une haute température sur le liquide, qui arrive incessamment à la mèche; la cheminée en verre, dont la flamme est coiffée, a pour objet tout à la fois de maintenir ce contact en empêchant les produits de la combustion de s'éparpiller, et d'activer le courant d'air, de telle sorte que l'oxygène soit toujours en excès.

Dans les lampes destinées à brûler l'huile de schiste, ces précautions ne sont pas encore suffisantes; il faut que le courant d'air soit plus abondant; il faut que le mélange de l'oxygène ou de l'air atmosphérique avec les produits gazeux soit plus intime. A cet effet, on a proposé diverses dispositions : ici c'est le verre qui est plus rétréci au-dessus de la flamme pour que le courant d'air soit plus rapide, condition qui ne peut être réalisée, toutefois, sans augmenter assez notablement la consommation des verres qui se brisent; là c'est la cheminée qui n'est rétrécie brusquement qu'un peu au-dessus de la flamme pour revenir ensuite à des dimensions ordinaires; mais c'est un grand inconvénient que d'être obligé d'avoir des verres spéciaux qu'il n'est pas possible de se procurer partout, et que cette espèce d'étranglement ne contribue pas, du reste, à faire durer davantage. Tels sont les principaux moyens qui ont plus particulièrement une action directe sur l'air extérieur à la flamme : lorsqu'on veut rendre plus efficace celui qui arrive par le tuyau central, on garnit cette ouverture d'un petit disque métallique maintenu au milieu de la flamme (voy. ÉCLAIRAGE). L'air affluant le rencontre, est obligé de le contourner, et se mêle, par conséquent, d'une manière parfaite avec les produits de la combustion. Ce moyen est le plus pratique, il n'exige pas de verres spéciaux.

Si, dans les dispositions du bec, les lampes à huile de schiste exigent quelques précautions spéciales, elles sont, d'un autre côté, bien favorisées sous le rapport de l'alimentation. Ces huiles s'élèvent avec une très-grande facilité dans la mèche, que l'on choisit, du reste, assez épaisse, par l'effet de la capillarité, et cette action est parfaitement suffisante pour fournir, pendant toute la combustion, une alimentation régulière, sans mécanisme, et sans l'emploi de ces ingénieuses dispositions qui ont été mises à profit dans les lampes à niveau constant. Une différence de niveau de 40 centimètres, dans le réservoir, n'est pas appréciable au point de vue de la flamme, en telle sorte que rien n'empêche de se servir d'un réservoir inférieur, et par conséquent d'employer des lampes dont la forme extérieure est tout à fait semblable à celles des lampes Carcel, mais elles sont privées de tout mécanisme : leur simplité est extrême, et jamais le liquide qu'elles sont destinées à brûler ne saurait contribuer, comme les huiles ordinaires, à les salir.

Le seul inconvénient que ces lampes présentent, c'est l'odeur même du liquide, qui n'est pas appréciable pendant la combustion, mais qui ne laisse pas que d'être très-grande lorsque la lampe ne brûle pas, et surtout lorsque l'on doit renouveler le liquide ou la mèche.

Le premier de ces inconvénients, tout futile qu'il paraisse, est peut-être le plus important; dans la plupart des petits ménages la lampe est un objet d'ornement, et combien de gens se refuseront à payer une lampe assez cher si, pendant la journée, ils n'en peuvent faire parade!

Quant au service du nettoyage de chaque jour, il n'a pas, à nos yeux, la même importance; l'huile de colza, telle qu'on la trouve dans le commerce, ayant aussi une odeur plus désagréable peut-être et plus persistante. Il est vrai que cette odeur ne lui est pas propre, et qu'elle provient de son mélange avec de l'huile de baleine, quelquefois, suivant les prix relatifs de ces deux substances, dans la proportion de 70 pour 100. D'ailleurs les dérangements de mécanisme, la nécessité fréquente d'un nettoyage à la potasse par le

lampiste, sont aussi dans l'éclairage ordinaire des inconvénients qui ont bien leur prix.

Sans doute la lumière d'une bonne lampe mécanique, d'une lampe Carcel, est extrêmement intense et fort agréable, mais cette lumière est d'un prix élevé, et combien la lumière de l'huile de schiste est plus vive et plus pure!

Des expériences directes qui nous sont propres nous permettent d'établir l'économie qui résulte de l'emploi de l'huile de schiste à égalité de lumière produite.

D'après les expériences de M. Péclet, sur la consommation des différentes lampes qu'il a examinées au nombre de douze, une seule, la lampe Thilorier n° 4, a donné un résultat plus favorable sous le rapport de la consommation que la lampe Carcel, et pour cette raison, il nous a paru convenable de prendre la lampe Carcel pour point de comparaison; c'est, du reste, la lumière fournie par cette lampe qui sert de base dans tous les contrats d'éclairage. Nous avons toutefois comparé la lumière produite par le bec à huile de schiste de 11 millimètres de diamètre à celle d'une lampe Carcel alimentée avec de l'huile de colza dont le bec était un peu plus grand, 13 millimètres.

La lampe Carcel, dans ces circonstances, éclairait davantage dans la proportion de 100 à 105; les consommations respectives ont été par heure de 33 et 20 grammes, en telle sorte que, pour la même quantité de lumière, les consommations respectives seraient 157 grammes d'huile de colza pour 100 grammes d'huile de schiste.

Ce chiffre ayant été le plus favorable à la lampe Carcel parmi les différents chiffres que nous avons obtenus, nous pouvons, en toute conscience, nous en servir pour calculer l'économie relative du nouveau mode d'éclairage.

Un kilogramme d'huile de colza dans la vente en détail ne vaut guère moins de 1 fr. 50 c., pour peu que l'on prétende qu'elle est pure; le kilogramme d'huile de schiste vaut encore 2 fr. 20 c., et il serait possible de la vendre à un prix beaucoup moindre. Les prix respectifs de 100 grammes d'huile de schiste et de 157 grammes d'huile de colza sont donc 22 et 24 c., ce qui établit un avantage d'un douzième en faveur de l'huile de schiste : cet avantage serait bien autrement grand avec des appareils moins parfaits que la lampe Carcel, et il ne peut manquer de s'accroître par la diminution de prix du nouveau liquide.

Mais il est un fait très-remarquable dont l'appréciation précédente ne saurait tenir compte. Tout le monde sait que les nuances vertes et bleues ne peuvent se distinguer l'une de l'autre lorsqu'on les examine le soir sous l'action d'une lumière artificielle : le bleu paraît vert; il serait de même impossible de distinguer le rose du jaune, même avec la lumière si brillante du gaz. Ces impossibilités disparaissent complétement avec la plus petite lampe à huile de schiste; la lumière est si blanche et si pure, que les couleurs de tous les objets extérieurs n'en sont nullement affectées, le bleu se distingue du vert, et le rose du jaune, absolument comme en plein jour, à la clarté du soleil.

Une comparaison semblable a été faite par nous entre un bec de gaz de houille alimenté par les conduits de la compagnie Manby Wilson et C[ie], et deux lampes à huile de schiste différentes.

Le bec de gaz était un bec rond, à double courant d'air, percé de vingt trous du diamètre d'un tiers de millimètre, disposés sur une circonférence de 9 millimètres de rayon; la consommation du gaz, estimée directement sur un compteur, après un temps considérable, était de 125 litres par heure.

La première des deux lampes, d'un diamètre de 15 millimètres, consommant 40 grammes à l'heure, éclairait plus que le gaz dans la proportion de 100 à 88; le deuxième, d'un diamètre de 11 millimètres seulement, consommant 24 grammes à l'heure, éclairait moins que le gaz dans la proportion de 100 à 138, d'où il résulte que, pour produire une lumière égale à celle de notre bec de gaz brûlant 125 litres par heure, la première lampe consommerait 35 grammes, la deuxième 33 grammes, soit en moyenne 34 grammes, en observant toutefois que l'avantage de l'huile de schiste est plus considérable avec les petits becs qu'avec les gros; ce qui peut encore s'exprimer en disant qu'une consommation d'un mètre cube de gaz équivaut à une consommation de 272 grammes d'huile de schiste.

Le bec de gaz ordinaire brûlant 120 litres par heure coûte en moyenne à l'éclairage privé 6 centimes par heure et par bec, soit 50 centimes par mètre cube (le prix actuel à Paris est de 49 centimes par mètre cube pour l'éclairage au compteur [1]). Le mètre cube équivaut à 272 grammes d'huile de schiste, ce qui porterait la valeur du kilogramme d'huile de schiste à 1 fr. 80 c. environ, pour produire la même quantité de lumière au même prix que le gaz ordinaire; ce serait à peu près le prix auquel la vente en gros pourrait s'effectuer à Paris, et l'huile de schiste ne nécessiterait pas ces dispositions nombreuses que le gaz exige.

On le voit donc, l'huile de schiste est appelée à jouer dans l'éclairage un rôle important. Les lieux voisins de la production la préfèrent à tout autre liquide, et l'éclairage public de la ville de Beaune s'effectue de cette façon; nous passerons cependant sous silence, dans cette notice, la comparaison que nous avions également établie au point de vue de l'éclairage public, et nous nous bornerons à indiquer que tout ce qui arrive à Paris se vend avec une facilité qui serait bien plus grande encore si l'irrégularité de la production n'avait dégoûté un grand nombre de consommateurs. Mais les entrepreneurs d'éclairage, qui s'occupent plus particulièrement de ce système, n'ont pour ainsi dire en vue que l'éclairage des salons; ils suivent là une route fâcheuse. Tant que l'odeur n'aura pas été évitée, et nous croyons difficilement à ce progrès, l'huile de schiste ne sera employée qu'exceptionnellement dans les salons. Sa place est dans ces modestes ateliers où l'éclairage est pour l'ouvrier une lourde charge, et où cependant la routine maintient l'usage de la chandelle, le plus cher et le plus insupportable des éclairages. Sa place est au grand air, dans les magasins où le gaz ne peut arriver facilement et où quelquefois il serait dangereux par les dégâts qu'il peut causer, dans les gares de chemins de fer, etc.; c'est dans tous ces cas que la consommation doit être immense.

C'est bien déjà quelque chose que d'avoir utilisé une matière minérale, improductive jusqu'ici, et d'en avoir tiré un produit nouveau qui remplace une production correspondante en colza, et par conséquent ramène à la culture des céréales une partie du sol consacré à la culture de cette plante oléagineuse.

A l'intéressante étude sur l'extraction de l'huile de schiste qui précède et que nous empruntons à une publication industrielle qu'a fait paraître trop peu de temps M. Tresca, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, nous ajouterons quelques mots :

Le procédé de distillation à feu nu a le défaut, comme il a été expliqué, de fournir plus d'huiles lourdes que n'en donnerait un chauffage qui ne pourrait dépasser la limite de température qui est celle de la vaporisation des produits les plus convenables, à la-

[1] La réduction du prix du gaz à Paris, à 30 centimes le mètre cube, rend la consommation de l'huile de schiste désavantageuse, aux prix indiqués, dans le cas où celle du gaz peut lui être substituée et si le prix de l'huile de schiste ne peut être abaissé.

quelle ne se décomposent pas les huiles légères qui ont le plus de valeur. C'est assez dire qu'il faut appliquer ici les procédés dont nous avons parlé à l'article DISTILLATION ; c'est ce qui a été fait sur une grande échelle, et les plus importantes fabriques d'huile de schiste emploient aujourd'hui la vapeur d'eau surchauffée dont M. Tresca a indiqué clairement la nécessité.

Il est curieux de voir les produits condensables de la distillation devenir assez importants dans une industrie qui rappelle tout à fait la fabrication de l'éclairage au gaz, pour qu'elle puisse se soutenir en perdant le gaz dégagé. Ce ne peut être évidemment qu'en évitant avec soin la décomposition des produits qui peuvent subsister à l'état liquide. C'est un problème qui a été encore résolu d'une manière avantageuse dans la pratique, en employant le chauffage à température assez élevée et fixe, à l'aide du bain de plomb, système déjà décrit, et qui permet de distiller le riche boghead d'Écosse, pour tirer surtout partie des produits liquides.

Les progrès de ces intéressantes industries ne sont qu'affaire de science et d'amélioration de procédés tant de combustion que d'extraction des produits, à la condition que leurs progrès combinés avec ceux de l'exploitation des mines de schiste et surtout de houille, les plus riches en hydrocarbures, dépassent le progrès si rapide de la consommation de cette précieuse substance ; la récolte journalière qu'on peut en faire dans les mines doit conduire à des produits nécessairement bien moins coûteux que ceux que donne la récolte annuelle des plantes oléagineuses.

I

IMPRIMERIE (COMPOSITION MÉCANIQUE). Nous avons cherché à apprécier les efforts tentés pour obtenir ou plutôt pour aider la composition par procédés mécaniques, car une opération qui exige la lecture d'un texte exige nécessairement l'intervention de l'intelligence humaine. Nous avons vu que quelque succès ne pouvait être espéré que d'une machine qui produirait la décomposition et le classement des caractères par procédé entièrement mécanique. La réalisation de ce progrès pour les milliers de caractères nécessairement placés sur une machine à composer, qui paraissait presque impossible, a été obtenue par une machine qui, à bien juste titre, a excité l'admiration universelle, car l'auteur a résolu, autant et aussi bien qu'il est possible, le problème de la composition mécanique. Cet inventeur est un Danois, M. Sörensen, qui, d'abord compositeur et par suite familiarisé de bonne heure avec toutes les difficultés de la pratique, est devenu, excité par le désir de donner un corps à des idées que lui inspirait un véritable génie pour la mécanique, un admirable mécanicien.

Décrivons son ingénieuse machine. Elle comprend :

1° Une table en forme de piano, renfermant à sa portion antérieure un clavier alphabétique, et à son centre un cône renversé ;

2° Un double cylindre, s'ajustant sur un cône ou entonnoir ; sur ce cylindre sont placés les types qui portent des crans variables qui permettent de les distinguer, et tous, vers le milieu, une rainure à queue d'aronde qui permet de les embrocher sur des baguettes de forme convenable. Le type cessant d'être entièrement libre sur la machine, on n'a plus l'inconvénient capital des autres machines, le grand nombre d'accidents qui arrivent nécessairement dans une multitude de types en mouvement.

Revenons au cylindre qui, formant, à proprement parler, le fond même, l'essence de l'invention Sorensen, nécessite une description détaillée.

Il est formé de deux parties superposées : l'une, fixe, (une fois qu'elle est ajustée sur l'entonnoir) porte le nom de cylindre compositeur ; l'autre, supérieure à la première, et opérant à volonté un mouvement concentrique de rotation, reçoit le nom de cylindre distributeur.

Le cylindre distributeur est un peu moins haut que le cylindre compositeur ; mais les parois de tous les deux sont composées du même nombre de baguettes verticales en cuivre blanc fixées solidement, pour l'un comme pour l'autre, sur deux plaques circulaires. La masse des types ou caractères destinés à la composition est rangée en piles le long des baguettes en question et ils y sont retenus par des entailles pratiquées dans les types. Ces baguettes, on le voit, remplacent les cassetins de l'imprimerie ordinaire.

A chaque tour du cylindre distributeur mis en mouvement par le pied de l'ouvrier agissant sur une pédale, les types qui se trouvent aux extrémités des baguettes passent, s'il y a lieu, par des ouvertures pratiquées dans la plaque supérieure du cylindre compositeur. La forme de ces ouvertures correspondant exactement à celle des types de chaque lettre ou signe d'imprimerie, avec leurs crans et entailles particulières pour chacun, il y a impossibilité mathématique à ce qu'une lettre passe à la place d'une autre.

Le cylindre compositeur est, comme le distributeur, formé de baguettes placées verticalement en cercle, entre deux plaques métalliques et circulaires. Les types sont attachés aux baguettes circulaires de cuivre par des rainures triangulaires correspondantes aux coches des types avec assez de jeu pour qu'ils glissent facilement, poussés par le poids de la colonne de types le long des baguettes sans être exposés à aucune déviation.

Le cylindre compositeur chargé des types est, ainsi que nous l'avons dit, posé verticalement sur un entonnoir dont la partie supérieure est munie de petits ressorts en nombre égal à celui des baguettes. Le ressort, mû par la touche du clavier alphabétique, agissant comme couteau, pousse transversalement et fait glisser le type correspondant, qui tombe dans l'entonnoir, où il est conduit forcément dans la position voulue jusqu'au tuyau spiral qui est au fond du cône. De ce tuyau il est poussé par un ressort dans une ligne continue, que reçoit un grand composteur ou règle fixée sous la machine. Lorsque le grand composteur est rempli, on le remplace par un autre, et ainsi de suite jusqu'à entière composition. L'ouvrier n'a plus ensuite qu'à justifier et à mettre en pages.

Un homme intelligent et un aide suffisent pour faire manœuvrer la machine, distribuer, composer, justifier et mettre en pages.

Les lettres ayant toutes un chemin égal très-court à parcourir dans l'entonnoir sur un plan presque vertical, et y étant appelées tour à tour, il n'y a jamais ni encombrement ni enjambement à redouter de leur part.

Inutile de parler des diverses difficultés prévues par l'inventeur et auxquelles il a parfaitement remédié. C'est ainsi que, par un mouvement alternatif produit par un excentrique, il secoue les colonnes de distribution pour éviter que de la crasse ne vienne gêner la descente de la distribution.

Les types particuliers nécessités par l'emploi de la machine Sorensen exigeant moins de métal pour leur fabrication que les caractères ordinaires d'imprimerie, leur prix de revient ne dépasse pas de beaucoup celui de ces derniers, l'inventeur ayant combiné un moule qui lui permet de fondre ses caractères sur les machines à fondre allemandes (voir FONDERIE). L'accroissement de dépense de cette fabrication, relativement à la fabrication ordinaire, ne portant que sur le moule, serait peu sensible pour une grande fabrication.

La machine Sorensen coûte 6,000 francs, et on peut, avec son aide, composer et distribuer 5,000 lettres par heure avec facilité, ce qui équivaut au travail ordinaire d'environ trois ou quatre ouvriers compositeurs. L'inventeur nous a dit qu'il peut composer jusqu'à 15,000 lettres par heure, mais qu'il ne pourrait toutefois le faire que pendant une courte durée de temps.

Si nous continuons les calculs déjà faits dans un précédent article, évaluant à 20 ou 25 francs la composition produite par jour pour une machine, à 6 et 5 francs les salaires du compositeur à la machine et du justificateur, à 10 pour cent par an, soit 2 francs par jour, l'intérêt du prix de la machine, et 2 francs pour réparations et surveillance du contre-maître, nous arrivons à une dépense de 15 francs.

Il semble donc que le succès devrait être immédiat et certain; cependant il se fait bien attendre, et ne sera jamais, nous le craignons, que partiel. Cela ne se comprendra que des personnes qui connaissent l'état économique de l'imprimerie. La quantité de travaux consistant en simples réimpressions a beaucoup diminué par l'invention du clichage, qui éternise en quelque sorte les compositions; les tableaux et ouvrages de ville, dans lesquels entrent une foule de caractères différents et qui ne sauraient être composés utilement à l'aide de machines, forment la majeure partie du travail de l'atelier de composition du plus grand nombre de maisons. De plus, dans beaucoup de cas, l'économie du prix de composition n'est pas seule à considérer; ainsi les compositions sur manuscrits, dans le prix de revient desquelles entrent pour une forte part les remaniements et corrections diverses, sont faites, pour la convenance des auteurs et à cause de la difficulté du travail, bien plus souvent dans les ateliers de grandes villes, où le prix de la composition est élevé, que dans des ateliers de petites villes, où la composition est faite par des femmes, avec un rabais de 20 ou 25 pour cent. La machine, travaillant à bon marché (dans les cas où la difficile lecture du manuscrit n'en rendra pas la production insignifiante et pour les rares travaux où le compositeur produit tout ce qu'il peut produire), rencontrerait la double concurrence de la convenance qui attache la clientèle à certains ateliers organisés en vue de travaux spéciaux, et du bon marché produit par diminution de salaire. Nous croyons donc, comme nous l'avons déjà dit, que le succès de ces machines, qui ne seront jamais que des outils venant aider le travail manuel, dont le seul effet est d'accélérer la prise de la lettre indiquée par la lecture, ne pourra jamais rappeler celui des presses mécaniques, où le travail manuel est remplacé entièrement par l'action de la vapeur, seule cause qui leur permet de produire, avec une grande rapidité et une économie de 200 à 300 pour cent, les impressions.

Le cas où l'adoption de ces machines semblerait le mieux indiquée est celui de la composition des journaux, qui exigent chaque jour une quantité de composition importante. Cela ne nous paraît pas douteux, et, à Copenhague, un journal se compose déjà à l'aide de cette machine. La seule objection possible, et qui s'applique surtout aux journaux qui, avec l'immense quantité de matières qu'ils renferment, tireraient le meilleur parti des machines dont nous parlons, c'est qu'elle peut difficilement employer de petits caractères; la nécessité d'une grandeur notable de l'entaille à queue d'aronde, combinée avec celle de ne pas dépasser l'épaisseur convenable, en arrière de cette entaille, pour que le caractère conserve de la résistance, paraît limiter au corps huit le plus petit type qui puisse être employé sans accidents et ruptures fréquentes. Le corps sept serait certainement la dernière limite possible, avec une excellente fabrication de caractères très-résistants.

Il est à observer, conséquence qui paraît avoir échappé à l'inventeur, que la possibilité d'assembler les caractères sur des baguettes fournit la solution du problème de les maintenir sur la surface d'un cylindre (en encastrant les extrémités des baguettes dans des rainures cylindriques), et par suite de résoudre simplement, et en employant des caractères mobiles, le problème inutilement cherché jusqu'ici de l'impression continue fournissant le maximum de rapidité possible, résolu seulement, pour les étroites colonnes des journaux, par le système dont nous allons parler.

Nous ferons remarquer, en terminant, que les inventeurs de semblables machines auraient à étudier un système qui, essayé sans succès pour simplifier la composition à la main, pourrait leur offrir quelques ressources. Je veux parler des *logotypes* ou lettres doubles. En fondant, ce qui est aujourd'hui facile et peu coûteux, à l'aide de la galvanoplastie et des machines à fondre, des syllabes, comme *ce*, *de*, *me*, *ne*, etc., on peut presque doubler la vitesse du travail, en levant deux lettres au lieu d'une, dans le même espace de temps. Si la multiplicité des casseaux complique le travail du compositeur, de manière à faire disparaître tout avantage de ce système dans la composition à la main, on comprend qu'il n'en est pas de même quand il s'agit de toucher des claviers supplémentaires convenablement disposés.

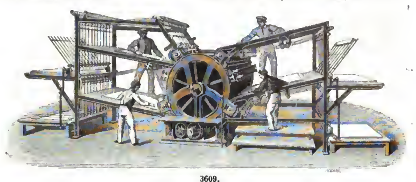
IMPRIMERIE (TIRAGE MÉCANIQUE). La solution de l'impression continue que le système Sorensen fait entrevoir, ou au moins des résultats sensiblement équivalents à ceux qu'elle fournirait ont été obtenus pour un cas important par M. Hoe, habile constructeur de New-York. Le succès de son système, pour de grands journaux de New-York et de Londres, le service excellent et non interrompu d'une semblable presse pour l'impression quotidienne, depuis sept années, à Paris, du journal *la Patrie*, ne laissent plus aucun doute sur son bon emploi pour l'impression des journaux à colonnes étroites.

La composition est placée dans des fractions de cylindres à rebords formant châssis à vis, dans lesquels se fixe fortement la composition formée de colonnes étroites séparées par des filets aigus du bas, en lame de couteau. Les rouleaux encreurs rencontrent alternativement les tables à encre et la composition, de telle sorte que, dans le mouvement continu et sans chocs, l'encrage et l'impression se succèdent d'une manière continue (fig. 3609). Avec les machines à 6 cylindres et 6 margeurs, la vitesse atteint 8,000 exemplaires à l'heure; avec 4 cylindres, on est limité par la difficulté de marger assez vite, surtout en retiration, pour dépasser habituellement 4 ou 5,000 exemplaires. Il est clair que la retiration n'est pas produite avec ces presses, et qu'elles ne donnent qu'un registre approché acceptable seulement pour des journaux.

On remarque aussi, dans ces machines, l'ingénieuse invention de grilles mues par des cames, servant à

guider les feuilles imprimées et à les mettre en paquets ; elles dispensent d'un ouvrier.

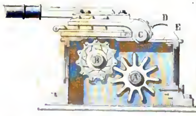
fera également tourner la roue B, avec laquelle elle engrène. L'axe A porte trois roues, deux d'entre



3609.

PRESSE DE BRAMAH POUR NUMÉROTER.

Un très-ingénieux appareil a été imaginé par le célèbre ingénieur Bramah, et appliqué par lui, sous la



3610.

forme représentée figure 3610, à la presse servant à l'impression des billets de la banque d'Angleterre. Le numéro de chaque billet est imprimé au-dessus des mots : *Il sera payé au porteur*, et un nombre étant ainsi imprimé par un coup de presse, le figure de la dernière unité change, lorsqu'on change la feuille de papier à imprimer, et est remplacée par celle de la suivante, et ainsi jusqu'au complément de la dizaine; les dizaines fonctionnent de même jusqu'à la centaine, et ainsi de suite.

Cette machine, réduite à sa plus grande simplicité, se compose d'un bâti supportant trois axes transversaux A, B, C ; au dernier est attaché le manche H, lequel est élevé, puis abaissé pour chaque opération, et qui porte le tympan de la presse. Quand le manche est levé verticalement, la planche est découverte, et peut être placée dans une position convenable à l'aide de deux guides ; puis la plaque étant recouverte, les types des nombres passent à travers des trous qui y sont pratiqués, pour venir en contact avec le papier. Sur l'axe B sont placés cinq cercles de cuivre semblables à celui que montre la figure ; chacun porte onze dents, sur chacune desquelles sont percés des vides recevant des types gravés : 0, 1, 2.....9, et une qui reste inoccupée. L'autre roue montée sur l'axe A a aussi onze dents, de manière que le mouvement d'une de ses dents

elles sont en contact avec les roues de l'axe B, et une autre, par laquelle le mouvement est communiqué. Quand le manche revient de la position verticale à la position horizontale, le cliquet D passe sur la partie supérieure de la roue A, en s'infléchissant sans exercer de pression; mais lorsque le manche est redressé, le cliquet résistant dans cette direction rencontre la dent supérieure et la force à s'avancer de l'intervalle d'une dent, et par suite fait tourner la roue B d'une dent; conséquemment, le chiffre supérieur augmente d'une unité, 0 est remplacé par 1, 1 par 2, etc., les chiffres étant disposés sur le contour de la roue suivant leur croissance. Des cinq cercles montés sur l'axe B, si l'on suppose que les quatre à droite ont l'espace vide placé en haut, et que la première roue marque le n° 1, l'impression 1 sera obtenue par un coup de la presse. Le manche étant relevé, le billet est enlevé, un autre est introduit; le cliquet D rencontre et pousse la roue A, et par suite la roue B, de manière à amener le chiffre 2 à la partie supérieure pour le coup suivant. L'impression a lieu de même; puis, par la répétition de semblable opération, on imprime les numéros 3, 4,... jusqu'à 9.

Ayant fait le nombre de mouvements nécessaires pour faire parcourir dix places au n° 1, la seconde roue montée sur l'axe A est alors poussée par un écrou pour venir en prise pour un coup avec le cercle de laiton voisin qui avait avant le vide en haut; le chiffre 1 de la seconde roue étant ainsi amené à la partie supérieure, la rotation qui amènera le 0 à la roue des unités produira le nombre 10, les coups suivants donneront 11, 12, 13... 19. La deuxième roue est alors poussée jusqu'à ce que 2 soit le chiffre supérieur, et en aura, comme ci-dessus, 21, 22, etc. En opérant ainsi, on arrivera jusqu'à 99. Probablement un moyen mécanique facile à imaginer assure la rotation de $\frac{1}{11}$ de chaque roue pour un tour de la précédente, mais nous ne le voyons pas indiqué dans l'ouvrage anglais qui nous fournit la description ci-dessus.

Pour que la troisième roue représente des centaines, la seconde des dizaines et la troisième des unités, en opérant sur la première roue, comme nous venons de dire, pour la seconde, on aura de même 100, 101, etc., 110, 111, etc. Enfin on arrivera ainsi jusqu'au chiffre 99,999, qui est le plus élevé qui puisse être obtenu avec cinq chiffres.

Le principe sur lequel repose cette élégante machine perfectionnée de manière à devenir tout à fait automatique, trouve en ce moment une application extrêmement heureuse à l'impression typographique et au numérotage simultané des actions et obligations, titres si multipliés aujourd'hui. En disposant dans l'intérieur d'un châssis renfermant la composition à imprimer des broches cylindriques, servant d'axes à des cylindres composés des dix chiffres gravés en relief ayant un diamètre exactement égal à la hauteur des types, on multiplie, autant qu'on le désire, les nombres qu'il est nécessaire d'imprimer en une seule fois.

A ce châssis est adaptée une pièce qui reçoit un mouvement de va-et-vient par chaque ouverture ou fermeture de la presse (comme le cliquet du système précédent), d'où résulte l'impulsion nécessaire pour que la première roue de chaque cylindre tourne par l'action d'un cliquet agissant sur un rochet monté sur le même axe, d'une unité à chaque fois. De plus, chaque couronne de chiffres fait avancer la suivante d'une unité pour chaque tour, par la rencontre d'une broche qu'elle porte en un point et qui est refoulée lors de son passage près du bras qui porte le cliquet dans un vide pratiqué sur le plat de la roue, tandis qu'elle redevient saillante aussitôt que cette action cesse par l'effet d'un ressort à boudin qui entoure la broche. On voit que le départ étant 000.000, par exemple, on aura successivement 000.001, 000.002..., puis 000.010, 000.011, etc., la pénétration de la broche à travers la roue lui permettant d'agir une seule fois par tour complet de la première roue sur le rochet latéral de la seconde roue. Cet effet s'étend, par la rencontre des broches, à la troisième, à la quatrième, et, en général, à deux roues consécutives pour chaque rotation complète de la roue des unités de l'ordre le moins élevé. On arrivera ainsi à 999.999, c'est-à-dire 1 million avec 6 couronnes.

La réalisation de ce système a été longtemps arrêtée par l'impossibilité de graver un aussi grand nombre de couronnes avec assez de précision pour que l'impression eût la netteté voulue. Le problème était évidemment du ressort de la fonderie en caractères; c'est ce qu'a reconnu M. C. Deriey, l'esprit le plus inventif aussi bien que l'artiste le plus éminent de cette industrie; il a résolu le problème, en fondant ces couronnes à l'aide d'un moule à pompe, les matrices des dix signes étant disposées pour former un cylindre dont le rayon s'agrandit pour laisser sortir les chiffres formés dans chacune d'elles par une très-heureuse application du principe de la virole brisée.

Le système ainsi complété est destiné à faire disparaître toutes les tentatives de numérotage après l'impression qui ont été faites, qui ne peuvent donner la perfection de l'impression à la presse et exigent en tout cas une double impression et par suite une double dépense.

M. Deriey a appliqué l'élément de ce système à la fabrication de timbres compteurs à main d'une grande simplicité, qui augmentent leur chiffre d'une unité à chaque coup, et qui doivent trouver de nombreuses applications dans le numérotage de pièces diverses, de registres pour le commerce, par exemple.

IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE PAR PROCÉDÉ MÉCANIQUE. L'exposition de 1855 a montré un premier et audacieux essai pour exécuter l'impression en taille-douce par procédé mécanique. Nous citerons les paroles du rapporteur sur cette invention évidemment insuffisante pour les gravures d'art, mais qui ne doit pas moins rencontrer d'importantes et utiles applications.

« La machine exposée par M. Robert Neale, pour imprimer en taille-douce d'une manière continue par la vapeur, est une chose nouvelle dans l'art de l'imprimerie. Cette machine a été brevetée en Angleterre en janvier 1853. Elle consiste en deux chaînes sans fin, auxquelles sont attachées une ou deux tables-impression. Les chaînes sont mises en mouvement par deux rouleaux placés aux deux extrémités de la machine; entre ces deux rouleaux s'en trouvent d'autres intermédiaires pour supporter la table-impression à l'endroit où l'impression se fait. Quand les chaînes sont mises en mouvement, leur partie supérieure met la plaque gravée en contact avec un rouleau d'impression, tandis que la partie inférieure met la même plaque en contact avec des appareils à encrer, nettoyer et polir la plaque gravée. Ces dernières dispositions sont les plus importantes de la machine; nous allons les examiner :

« 1° L'encrage consiste en une boîte et rouleau encreur ordinaire avec un rouleau preneur, qui étend l'encre non-seulement sur les parties gravées de la plaque, mais encore sur la plaque entière. Il s'agit alors d'enlever l'encre qui se trouve sur la plaque, en y laissant toutefois celle qui est sur la partie gravée. Cette opération se fait par un blanchet sans fin en cuir, qu'un rouleau met en contact avec la plaque, et qui a une vitesse supérieure à celle de la plaque gravée, d'où il résulte que ce blanchet prend l'encre qui se trouve sur ladite plaque à l'exception de la partie creuse. Il y a, en outre, un râteau en fer qui enlève l'encre posée sur le blanchet, de façon que ce dernier est toujours propre pour recevoir l'encre de la plaque gravée, le râteau étant combiné avec une boîte ou réservoir à encre, afin que l'encre superflue ne soit pas perdue; 2° le polissage de la plaque gravée consiste en deux rouleaux en cuir mis en contact avec la plaque gravée, et ayant à leur circonférence une vitesse supérieure à celle de cette dernière. Pour tenir la surface de ces rouleaux propre, ils sont, dans leur partie inférieure, mis en contact avec un long blanchet sans fin, en laine, animé d'un mouvement continu; pour maintenir ce blanchet dans un bon état, il y a un rouleau dans une boîte contenant de la craie pilée qu'une brosse met sur le blanchet, reprenant ensuite ce qu'il y a de superflu sans le rejeter dans la boîte.

« Le papier à imprimer est placé sur une table, et, au moyen des marges, au moment où la plaque gravée arrive par l'entraînement des chaînes, la feuille est posée sur la plaque et passée entre elle et le cylindre pour recevoir l'impression.

« Le nettoyage et le polissage de la plaque gravée se font d'une manière si parfaite, qu'on peut imprimer avec des plaques froides, tandis qu'on opère généralement avec des plaques chauffées, lorsque l'impression, le nettoyage et l'encrage sont faits à la main. Si, dans certains cas, on juge convenable de chauffer les plaques gravées, il existe dans la table-impression une disposition qui permet d'introduire des fers chauds dans une partie creuse de cette table, et de la maintenir ainsi au degré de chaleur que réclame ce cas particulier.

« Plusieurs de ces machines fonctionnent déjà en Angleterre; elles sont même d'une plus grande dimension et plus parfaites que celle qui est à l'Exposition, notamment une dont les plaques sont de 30 sur 50 centimètres pour l'impression des timbres-poste chez MM. Perkins, Bacon et Cie, à Londres. Cette machine produit 2,000 impressions par jour, y compris le temps perdu, c'est-à-dire environ 300 par heure. »

PRESSION HYDRAULIQUE. — M. J. Silbermann a combiné une application nouvelle de la pression des liquides pour obtenir la pression considérable nécessaire pour l'impression en taille douce, qui paraît avoir de l'avenir. La surface supérieure de la presse est formée d'une partie élastique remplie d'eau et recouverte de laine. L'eau communique par un petit tuyau avec une atmosphère d'air comprimé ou un réservoir supérieur. On peut donc, en tournant un robinet, exercer immédiatement une pression très-considérable.

Une très-élégante application de ce système est la possibilité d'imprimer des surfaces de toute forme, ce qu'on ne sait pas faire aujourd'hui. Ainsi, une sphère creuse pourrait recevoir une pression à l'intérieur, à l'aide d'une boule de caoutchouc mise en communication avec le réservoir. L'inventeur poursuit les applications qu'il peut faire de son système à diverses industries; nul doute qu'il n'arrive à d'intéressants résultats que font entrevoir ses premiers essais.

INCRUSTATIONS. Il y a peu à ajouter à l'exposition des principes et aux conclusions indiquées dans l'article INCRUSTATIONS de M. Mallet pour les chaudières à vapeur *sur terre*. Toutes les fois notamment (et c'est le cas le plus général) que les incrustations tendent à être formées principalement de carbonate de chaux, elles conservent facilement, par l'emploi de matières convenables, la forme de boues non adhérentes. Une des compositions qui a eu le plus de succès est la suivante due à M. Bevenet :

Sel marin.	83
Sel de sonde.	14
Extrait de tan sec.	3
	100

La sonde, en saturant les acides, le tan en précipitant à l'état de tannate insoluble le fer notamment, assurent le bon usage de cette composition pour beaucoup d'eaux; car, il faut bien le répéter, ce n'est qu'après avoir fait l'analyse d'une eau d'alimentation, et surtout des dépôts incrustants, qu'on peut déterminer la composition du mélange qui peut empêcher leur formation à l'état solide, leur adhérence à la chaudière. C'est ainsi que l'emploi du chlorure de barium s'introduit aujourd'hui avec succès dans l'industrie pour purifier les eaux chargées de sulfate de chaux.

Chaudières marines. — Aucun travail analytique sérieux n'avait jamais été fait pour les incrustations si considérables et si fâcheuses qui se déposent dans les chaudières à vapeur alimentées avec l'eau salée; et ce n'est que dans ces derniers temps qu'il a été l'objet des recherches de M. Cousté, directeur de la fabrique des tabacs de Dieppe, qui a traité avec grand talent la question des incrustations marines, et a publié, dans les *Annales des mines*, le résultat de ses travaux. Ce qu'il a trouvé de plus saillant, c'est que le dépôt incrustant était formé presque complétement de sulfate de chaux qui, se déposant hydraté, devient anhydre par l'effet de la chaleur qu'il éprouve quand il est déposé sur la paroi métallique. Il devient amorphe par la cuisson, et contracte une grande dureté et une grande adhérence avec le fond des chaudières. Il a trouvé que ces dépôts étaient composés de 0,81 à 0,85 de sulfate de chaux, 0,022 à 0,032 de carbonate de magnésie, de 0,06 à 0,10 de magnésie libre, d'un peu de fer, d'alumine et d'eau.

On concevra facilement tout l'intérêt que mérite la question des incrustations à la mer, quand on aura remarqué la rapidité effrayante avec laquelle elles se forment, et leur épaisseur s'élevant à 5 ou 6 millimètres après quelques jours. On voit de suite le ralentissement de la vaporisation, la difficulté pour la transmission de la chaleur qui résulte de l'interposition d'une couche terreuse. Il est tel qu'il est reconnu que, pour les transatlantiques, le nombre de tours de roue par minute diminue au moins de 1/5e trois jours après avoir quitté le port où s'est effectuée la désincrustation totale de la chaudière.

Nous allons passer en revue, en profitant des travaux de M. Cousté, les moyens employés pour combattre les incrustations à la mer, ou pour supprimer l'emploi de l'eau de mer dans les chaudières, solution complète, mais difficilement praticable, du problème de se mettre à l'abri des inconvénients qui s'attachent à l'emploi de l'eau salée.

4° *Pompe à désaturation.* — L'eau de mer renferme 1/33e environ de matières salines et laisse déposer des cristaux lorsqu'elle en contient 12/33e. Après peu de temps, la vaporisation n'entraînant que de l'eau pure, on voit que, si rien ne s'y opposait, de grandes quantités de matières solides viendraient remplir la chaudière. Le moyen qui a été employé pour éviter cet inconvénient consista à enlever, à l'aide d'une pompe, une suffisante quantité d'eau saturée de sels, en la puisant au fond de la chaudière où se réunit l'eau saturée et par suite très-dense. Il suffirait, au point de vue de la saturation, que cette pompe enlevât deux ou trois douzièmes de l'eau apportée par la pompe alimentaire, mais il n'en est pas de même pour les incrustations. L'expérience a prouvé que lorsque la pompe de désaturation n'enlevait pas une proportion bien plus considérable de l'eau fournie par la pompe alimentaire, les incrustations se produisaient avec une très-grande rapidité. C'était dans ces faibles proportions indiquées ci-dessus qu'était réglée la marche de la pompe de désaturation, il y a quelques années, et les incrustations étaient telles que les premiers essais de chaudières tubulaires à la partie supérieure, tentés par M. Gingembre, furent abandonnés, par suite des incrustations qui réunissaient bientôt tous les tubes en une seule masse.

Lorsqu'au contraire on s'est décidé, comme on le fait aujourd'hui, à faire enlever à la pompe de désaturation moitié de l'eau envoyée dans la chaudière par la pompe alimentaire, le sulfate de chaux, de moins en moins soluble avec la chaleur, comme l'a montré M. Cousté, et insoluble dans l'eau à 150°; se trouve précipité et entraîné en partie au dehors, d'où résultent une diminution de l'incrustation sur les surfaces directement exposées à l'action du feu, incrustation malheureusement encore bien notable, et la suppression des incrustations sur les surfaces indirectes de chauffe, sur celles qui ne sont chauffées que par la circulation de la fumée.

Ce résultat très-considérable fera, nous pensons, toujours maintenir le jeu de la pompe de désaturation plus étendu qu'il n'est indispensable pour purger l'eau de mer des sels solubles, quel que soit, dans l'avenir, le sort des découvertes de matières anti-incrustantes qui pourront être faites pour combattre avec quelque succès les incrustations. D'où cette conséquence, au point de vue même de ces découvertes, qu'elles peuvent difficilement consister dans l'addition de substances solubles (comme le carbonate de soude proposé pour l'eau douce par M. Kuhlmann), puisqu'elles devraient s'appliquer à une grande quantité d'eau et être répandues en grande partie dans la mer en pure perte, au lieu de se combiner avec les substances incrustantes.

En second lieu, il est évident qu'il faut reprendre à l'eau expulsée la chaleur qu'elle renferme; car la quantité en devient importante. On y parvient en faisant sortir l'eau chaude par des tubes placés au centre des tuyaux qui conduisent l'eau froide à la pompe alimentaire; dans ce mouvement en sens inverse, s'il est suffisamment prolongé, il y a échange, déplacement de la chaleur. Dans la pratique, les incrustations qui se produisent par le moindre échauffement de l'eau salée, par suite du dégagement de l'acide carbonique qu'elle tient en dissolution, ce qui cause la précipitation de matières terreuses, s'opposent au bon échange de la chaleur entre les deux colonnes d'eau. La pompe de désaturation gêne, comme les incrustations qui rendent dangereux un chauffage énergique, l'emploi de la haute pression à la mer; elle peut difficilement puiser de l'eau à une température un peu élevée, celle-ci se réduisant en vapeur qui remplit le corps de pompe à chaque coup de piston.

2° *Moyens chimiques. — Compositions désincrustantes.* — Les moyens chimiques, qui suffisent avec les eaux douces pour éviter l'adhérence des dépôts de carbonate de chaux, n'ont pas réussi à la mer; ceux qui paraissent avoir eu quelques succès partiels, le sel de soude et le tan, par exemple, deviennent trop coûteux par la grande quantité qu'il est nécessaire d'employer à la mer, et que double encore l'extraction considérable de la pompe de désaturation.

On peut établir qu'une condition essentielle d'une matière anti-incrustante est d'être insoluble, de se déposer sur les surfaces métalliques, de manière à se trouver en position d'agir aussitôt que l'incrustation commence. C'est le résultat de ce que nous avons établi ci-dessus.

D'un autre côté, on peut établir que les seuls procédés qui aient donné des résultats de quelque importance à la mer sont les deux suivants :

Le premier est le graissage du fond de la chaudière. Tant que la moindre parcelle de graisse persiste, aucun dépôt terreux ne peut le recouvrir sans que, par suite de l'accroissement de température qui en résulte pour la paroi métallique qui cesse d'être en contact avec l'eau, cette graisse ne se décompose, brise et pénètre la matière incrustante qui cesse d'être adhérente. Malheureusement il est bien évident que l'effet du graissage de la chaudière, effectué à la main lors du départ, ne peut durer que quelques jours.

Le second moyen consiste dans l'emploi de l'argile, qui a la propriété de rendre les matières déposées boueuses, et cet effet est assez prononcé pour qu'un instant on ait annoncé que l'argile allait remédier à tous les défauts des incrustations. Malheureusement il a été bientôt reconnu que l'argile entraînait des inconvénients graves qui devaient la faire rejeter complétement, ou pour le moins (et c'était l'avis du plus petit nombre) en restreindre l'application à l'emploi de quantités insuffisantes pour combattre efficacement les incrustations. L'argile, rendant l'eau visqueuse, est entraînée avec elle dans les tiroirs et dans les cylindres et est bientôt une cause de destruction.

Toutefois, il nous semble que les résultats ci-dessus mettent sur la voie d'une solution complète, et c'est pour cela que nous sommes revenus sur ces procédés. Leur réussite partielle paraît indiquer l'emploi d'un savon alumineux, formé de corps gras et d'alumine en gelée, pouvant (sauf quelques difficultés de répartition égale dans la masse, dans les moyens d'assurer une densité convenable par mélange, ce qui demande quelques expériences) faire disparaître les incrustations, tant par l'action de la graisse qui lubrifierait les faces de la chaudière, que par celle de l'alumine, qui donne à l'argile ses propriétés anticristallines, grasses, boueuses. Il y a là une magnifique question à résoudre, du plus haut intérêt pour la navigation à vapeur.

Surchauffe de l'eau. — M. Cousté, ayant remarqué que le sulfate de chaux, qui formait exclusivement la base des incrustations, était entièrement insoluble à 150°, a proposé de chauffer l'eau à cette température (sans la laisser se vaporiser), puis de la filtrer avant de la faire puiser par la pompe alimentaire. La disposition qu'il a proposée, à cet effet, nous paraît d'une application pratique assez difficile, et le nettoyage du surchauffeur presque aussi compliqué que celui de la chaudière ; mais l'idée n'en est pas moins parfaitement logique, et il n'y a pas théoriquement de perte de chaleur à échauffer l'eau qui doit être vaporisée ensuite. On peut donc espérer que cette idée portera ses fruits.

C'est par un effet de cette nature que peuvent s'expliquer les curieux effets de la chaudière à diaphragmes de M. Boutigny d'Évreux, qui fournit peut-être le moyen pratique cherché par M. Cousté. L'eau, tombant sur les premiers diaphragmes, paraît chauffée assez brusquement à l'état d'eau, sans se vaporiser, pour que toutes les matières incrustantes se déposent sur ceux-ci, et que par suite leur facile changement effectue le nettoyage de la chaudière.

Il est constaté aujourd'hui que le premier effet de l'échauffement de l'eau est de faire déposer d'abord les carbonates, tenus en dissolution dans l'eau par l'acide carbonique qui se dégage, puis les sulfates, si on atteint des températures plus élevées. C'est ce que l'on constate facilement, par exemple, dans les tubes réchauffeurs des chaudières Farcot. Il semble, d'après cela, qu'en prenant pour l'eau d'alimentation partie de celle du condenseur, puis la réchauffant par un jet de vapeur vers 80 degrés, après y avoir ajouté une petite quantité de chlorure de barium, produit aujourd'hui à bon marché, enfin en faisant traverser à l'eau un filtre convenable avant de la faire arriver à la pompe alimentaire, on approcherait bien près de la solution complète de l'important problème de supprimer les incrustations à la mer.

Condenseur de Haal. — Un système fort séduisant et auquel on n'a renoncé qu'après l'avoir appliqué à plusieurs reprises et sur une grande échelle, consiste à condenser la vapeur d'eau, non plus par le contact direct de l'eau de condensation, mais par son action indirecte, par l'intermédiaire de surfaces métalliques refroidies par cette eau. Le produit de la condensation, c'est-à-dire de l'eau distillée, retournant dans la chaudière pour l'alimenter, toute la question des incrustations eût été résolue, toutes les difficultés qui peuvent résulter de l'emploi de l'eau de mer eussent été levées, puisque c'eût été une même quantité d'eau distillée, successivement vaporisée et condensée, qui eût effectué le travail dans la machine.

Haal disposait son condenseur sous forme de longs tubes enroulés (de plusieurs milles de longueur pour de puissantes machines), recevant la vapeur à condenser à l'intérieur et plongés dans l'eau enlevée à mesure de l'échauffement par la partie supérieure. Il paraît avoir reconnu qu'une surface condensante de $4^{m}.68$ était suffisante par force de cheval. Un laborieux inventeur, M. Sauvage, a récemment établi un condenseur de ce genre, dans lequel une surface de $0^{m}.50$ était suffisante par force de cheval, en faisant marcher l'eau condensante en sens inverse de la vapeur renfermée dans un tube placé à l'intérieur du tube qui contenait l'eau.

Il n'y aurait rien à désirer de mieux que ce système, s'il fonctionnait toujours, après quelque temps de service, comme lors de la mise en train. Malheureusement les dépôts que l'eau de mer fait sur les tuyaux, et aussi la graisse qui tapisse leur intérieur et qui provient de la vaporisation de celle qui a servi à lubrifier les organes de la machine, font que le contact entre la vapeur et l'eau n'est plus seulement gêné par un passage à travers des corps métalliques bons conducteurs de la chaleur, mais encore à travers des substances qui la conduisent fort mal et qui s'opposent à une rapide condensation.

En pratique, le système de Haal, fort bien accueilli par l'amirauté anglaise, a été abandonné après bien des essais, et les appareils de condensation à surface supprimés. Nous avons proposé de les adopter partiellement (voir BATEAU A VAPEUR), c'est-à-dire de modifier les dispositions, de manière à pouvoir nettoyer les surfaces de condensation, en faisant passer l'eau dans des tubes verticaux analogues aux tubes à fumée des locomotives dans lesquels on peut faire passer un écouvillon. L'expérience n'a pas encore prononcé sur ce système, qui ne paraît applicable que sur une échelle restreinte, à cause de l'embarras et de la difficulté du nettoyage.

Refroidissement de l'eau de condensation. — M. Cousté

ne croit pas possible d'abandonner le condenseur à eau ; d'un autre côté, reconnaissant les grands avantages d'employer à la mer de l'eau distillée, il propose de chercher les moyens de refroidir l'eau de condensation qui resterait toujours la même. Ce système sembla peu acceptable, puisqu'on agirait sur des poids d'eau considérables et qu'en réalité tout refroidissement produit mécaniquement correspond à un travail résistant, à une consommation de travail ; toutefois il n'est pas impossible que, dans certaines circonstances et avec certains systèmes de réfrigérant peu dispendieux, empruntant surtout leur effet à l'atmosphère un à la mer, il puisse être applicable. Sa conception est assez heureuse pour être notée comme un progrès industriel peut-être réalisable quelque jour. Cela deviendra d'autant plus possible, que la plus parfaite utilisation du travail mécanique que peut produire la vapeur aura entraîné la consommation d'une plus grande quantité de chaleur, comme nous l'avons vu à l'article ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR, et que par suite l'eau de condensation sera moins échauffée ou sera en quantité moindre.

INDICATEUR DE NIVEAU D'EAU. — Quand un phénomène se passe à l'intérieur d'une capacité, on ne peut l'utiliser qu'autant que l'on parvient à en communiquer les effets à l'extérieur, à l'aide d'appareils qui permettent cette transmission sans établir de communication avec l'air extérieur. Tels sont les stuffing-box, ou boîtes à étoupes des machines à vapeur. Il est bien évident que de semblables systèmes ne peuvent fonctionner que par l'effet d'une pression qui empêche la rentrée de l'air, et par suite en faisant naître un travail résistant de frottement.

Cet inconvénient ne pourrait être évité que si l'on disposait d'une force d'attraction qui pût s'exercer à travers les parois de la capacité, de telle sorte que la pièce qui glisse dans son intérieur pût entraîner une pièce extérieure.

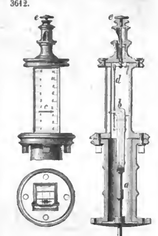
Ce problème est insoluble aujourd'hui quand il s'agit de forces considérables ; mais, pour des résistances minimes et de petites vitesses, lorsqu'il s'agit d'appareils indicateurs et non d'opérateurs, on a, dans le magnétisme, une force qui remplit toutes les conditions voulues. L'appareil que nous allons décrire est le premier, je crois, où l'on ait rendu pratique une semblable disposition qui présentera des avantages précieux dans tous les cas où les ouvertures à une capacité offrent de grands inconvénients.

Le flotteur-indicateur de niveau d'eau, inventé par M. Lethuillier-Pinel, de Rouen, se compose d'un flotteur métallique creux (fig. 3614, 3612, 3613) suspendu à une tige dont la partie supérieure se meut dans une boîte rectangulaire en cuivre fixée au dôme de la chaudière, et est munie d'un barreau d'acier fortement aimanté. Extérieurement, et contre l'une des faces de la boîte, se trouve une petite aiguille en fer isolée de tout support et maintenue contre la boîte par l'attraction seule de l'aimant. Ce dernier monte et descend avec le flotteur, et entraîne avec lui l'aiguille qui parcourt les divisions d'une échelle dont le zéro correspond au niveau normal de l'eau dans la chaudière.

Le tout est habituellement recouvert d'une glace qui protége l'aiguille et maintient l'échelle constamment propre. Pour surcroît de précaution, M. Lethuillier-Pinel a soin de dorer toute la face de la boîte, afin qu'elle reste constamment brillante et que les divisions y soient bien apparentes.

Dans l'indicateur complet, tel qu'il est figuré sur le dessin, le dessus de la boîte porte une tubulure fermée par une soupape qui s'ouvre de haut en bas et est maintenue en place par un petit ressort à boudin. Lorsqu'elle est ouverte, elle dirige un jet de vapeur sur le sifflet d'alarme qui est établi à peu près comme dans les appareils ordinaires. Un système de leviers ouvre cette soupape, soit lorsque le barreau aimanté

3612.



3613. 3614.

descend à $0^m.05$ au dessous de son niveau normal, soit lorsqu'il s'élève à $0^m.12$ au-dessus.

Cet appareil présente plusieurs avantages sur les flotteurs ordinaires. Ceux-ci, en effet, sont loin, en général, de donner des résultats satisfaisants. Suspendus habituellement à un fil de cuivre qui traverse le dessus de la chaudière dans une petite boîte à étoupes, ils ne laissent presque jamais que le choix entre deux inconvénients, ou de trop serrer la garniture, ce qui rend l'appareil peu sensible ou même inutile, ou de ne pas la serrer suffisamment, ce qui occasionne presque toujours une fuite de vapeur. En outre, ce fil de cuivre est assez rapidement détruit, et, quand le chauffeur le remplace, on est exposé à ce que le fil nouveau n'ait pas toujours exactement la longueur convenable, de sorte qu'après ce remplacement les indications de l'appareil peuvent être entachées d'inexactitude. Au contraire, le flotteur de M. Lethuillier-Pinel est muni d'une tige solide de longueur invariable et réglée selon le diamètre de la chaudière. Cette tige a un autre avantage, c'est qu'on la démonte en faisant sauter une simple clavette ; ce qui permet d'enlever le flotteur avec la plus grande facilité, lorsque le chauffeur entre dans la chaudière pour la nettoyer. Enfin, M. Lethuillier-Pinel, en réunissant sur une même tubulure le flotteur ordinaire, le sifflet d'alarme et, quand on le veut, une soupape de sûreté, évite de pratiquer un aussi grand nombre d'ouvertures sur le dessus de la chaudière, ce qui n'est pas sans quelque intérêt lorsque celle-ci est de petite dimension.

Quelques personnes pourraient craindre peut-être que l'influence prolongée d'une température souvent supérieure à 150° ne finit par produire le même effet qu'un recuit à une température plus élevée, c'est-à-dire ne fît disparaître l'aimantation du barreau d'acier; mais il paraît qu'il n'en est rien, et que des appareils en service depuis plusieurs années fonctionnent toujours parfaitement.

La petite aiguille indicatrice se meut par petits

soubresauts, comme cela a toujours lieu dans les indications de mouvements de cette nature; la force d'attraction magnétique ne pouvant agir pour mouvoir l'aiguille que sous une certaine obliquité, après avoir appliqué l'aiguille sur le tableau, et l'inertie du corps en mouvement lui faisant dépasser quelque peu le point correspondant à la plus petite distance. Il n'en résulte, au reste, aucun inconvénient dans la pratique.

INDUCTION (COURANTS D'). Les courants électriques dits d'induction jouissent de propriétés remarquables, faciles à constater à l'aide d'un ingénieux appareil construit par M. Ruhmkorff, qui permet de les produire facilement. Nous en donnons ici la description d'après M. E. Becquerel.

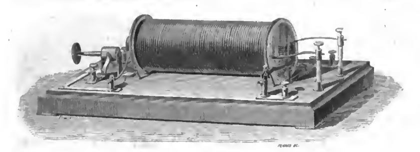
On sait que, lorsqu'on aimante un barreau de fer doux, il se manifeste, dans un fil conducteur enroulé autour de lui, un courant induit instantané et dirigé en sens inverse des courants que l'on suppose devoir circuler dans l'aimant d'après la théorie d'Ampère; lors de la désaimantation de ce barreau, il se produit dans le même fil un courant induit, également instantané, mais en sens inverse du précédent, c'est-à-dire dans le même sens que ceux que la théorie indique comme parcourant le fer aimanté, et que nous nommerons courant direct. Si, maintenant, l'on provoque une succession rapide d'aimantations et de désaimantations dans le fer, par un moyen quelconque, il se produira simultanément, dans le fil conducteur voisin, des courants induits dans les deux sens; mais l'expérience a prouvé que l'état électrique du circuit, au lieu d'être nul, est semblable à celui qui serait donné par une succession de courants directs, c'est-à-dire produits lors des différentes désaimantations du barreau de fer doux. Les courants induits directs sont donc prédominants et par leur excès de tension masquent l'effet des courants inverses que donnent les diverses aimantations.

MM. Masson et Bréguet ont observé, les premiers, que les courants d'induction avaient une tension assez grande; ils parvinrent ainsi à charger un condensateur et à produire des effets lumineux dans le vide, mais n'obtinrent pas l'étincelle à distance dans l'air. Ce résultat a pu être réalisé par M. Ruhmkorff à l'aide de l'appareil d'induction à la construction duquel il a apporté toutes les connaissances d'une personne versée dans l'étude de l'électricité et tous les soins d'un constructeur habile.

Cet appareil (fig. 3614) consiste en une longue bobine en carton mince avec rebords en verre ou en bois, recouverte d'un premier circuit formé par un fil de cuivre isolé gros et court, lequel doit donner passage au courant électrique inducteur destiné à provoquer l'aimantation de la masse centrale en fer doux. Sur ce premier circuit se trouve enroulé un fil de cuivre entouré de soie, mais d'un très-petit diamètre et dont la longueur varie entre 8 et 10 kilomètres; car la longueur du fil, par la résistance qu'il oppose à la transmission de l'électricité, est la première condition pour que celle-ci acquière une grande tension. Ce second fil est, en outre, isolé avec le plus grand soin par un vernis à la gomme laque, et ses extrémités aboutissent à deux colonnes isolantes en verre. Dans l'axe de la bobine se trouve un faisceau de fils de fer dont la surface oxydée ne permet pas de communication d'un fil à l'autre de manière à éviter que des courants d'induction circulant autour de la masse de fer ne diminuent la rapidité de transmission des courants induits dans le circuit intérieur.

On voit donc que le principe de l'appareil consiste à faire passer, à des intervalles très rapprochés, une succession de courants électriques dans le premier circuit ou dans le gros fil inducteur; le faisceau central en fer doux, en s'aimantant et se désaimantant, réagira, par induction, sur le circuit de fil fin, et produira une série de courants induits donnant lieu aux étincelles et aux effets d'inflammation dont on parlera plus loin.

Pour produire cette succession rapide de courants dans le fil inducteur, M. Ruhmkorff a employé le système d'interrupteur, utilisé par MM. Neef et Delarive : il est disposé de façon à être mis en jeu par le courant électrique qui anime l'appareil. Pour atteindre ce but, le faisceau central de fils de fer est terminé par une rondelle de fer doux qui fait saillie hors de la bobine et qui est destinée à attirer une petite masse de fer doux toutes les fois que l'aimantation a lieu; cette petite masse de fer doux, attachée à un bras de levier très-mobile, est terminée, à sa partie inférieure, par une lame en platine qui repose, dans les conditions ordinaires, sur un morceau de cuivre également couvert de platine. Or comme la masse de fer doux communique à une des extrémités du fil inducteur et que le morceau de cuivre touche à l'un des pôles du couple ou de la pile qui produit le courant, il en résulte que le circuit sera fermé toutes les fois que les deux masses métalliques seront en contact; mais, quand cela aura lieu, les fils de fer s'aimanteront, le morceau de fer doux sera attiré et le circuit sera rompu; aussitôt le courant cessant de passer, le fer doux retombera, touchera de nouveau le cuivre, d'où résultera un nouveau passage de l'électricité; de là nouvelle attraction, nouvelle rupture du circuit, et ainsi de suite. On comprend dès lors qu'il se produira une succession très-rapide de passages du courant attestés par des étincelles éclatant entre le marteau de fer et le morceau de cuivre; mais



3614.

comme ces masses métalliques sont recouvertes de platine, il ne se produit pas d'oxyde entre les surfaces de contact, et l'action peut se continuer ainsi pendant plusieurs heures.

Quand l'appareil fonctionne de cette manière, on peut, en faisant usage d'un ou deux couples de Bunsen comme source électrique, avoir un courant induit capable de donner, entre les deux extrémités du fil fin, des étincelles de plusieurs millimètres. Quand la pile est plus puissante, les effets statiques augmentent d'intensité. On doit remarquer que l'extrémité du fil par laquelle l'excès de tension est donné quand on en approche un corps conducteur est celle qui forme les derniers tours de spire, c'est-à-dire l'extrémité extérieure du fil fin; l'autre extrémité, ou l'extrémité intérieure ne produit aucun effet de ce genre.

M. Ruhmkorff a adapté à son appareil d'induction un condensateur dont on met les deux faces en rapport avec les deux extrémités du fil inducteur; ce condensateur, en réagissant sur l'extra-courant qui passe dans ce fil, ainsi que l'a montré M. Fizeau, augmente la longueur des étincelles éclatant dans l'air entre les bouts du fil induit. Cet effet provient d'un excès de tension plus considérable de l'électricité induite, qui acquiert alors plus de facilité à vaincre les résistances. Ce condensateur est formé d'une bande de taffetas gommé de 3 mètres environ de longueur, sur les deux faces de laquelle sont fixées des lames d'étain; le tout est replié et mis dans le support de l'appareil.

Enfin M. Foucault, en montrant le moyen de faire agir simultanément plusieurs appareils, en a accru singulièrement les effets.

Un grand nombre de physiciens ont déjà fait, au moyen de cet appareil d'induction, des recherches fort intéressantes. C'est ainsi qu'on a pu étudier la lumière électrique dans le vide, les apparences lumineuses et les différences des actions calorifiques aux deux pôles.

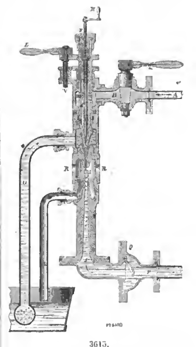
L'appareil dont il s'agit n'offre pas seulement un intérêt purement spéculatif, si l'on considère les services qu'il a déjà rendus et ceux qu'il peut rendre à l'art des mines. Les procédés employés jusqu'à ce jour pour enflammer la poudre dans les mines sont impraticables dans certains cas, et le plus souvent insuffisants et dangereux. L'incandescence d'un fil métallique interposé dans un circuit voltaïque avait déjà permis de provoquer une explosion à distance à un moment donné; mais quelques imperfections de cette méthode et l'embarras de la disposition des couples, dont le nombre dépend de la longueur du circuit à parcourir, étaient tels, que l'on n'a pas utilisé la puissance calorique de l'électricité voltaïque. L'appareil de M. Ruhmkorff n'offre plus les mêmes embarras de manipulation; au lieu d'une pile de plusieurs éléments, il n'en exige qu'un seul, et encore pourrait-il être remplacé par une machine magnéto-électrique toujours prête à fonctionner. Quand on veut opérer, on place, là où l'explosion doit avoir lieu, une fusée de Statcham; puis le circuit est formé à l'aide de deux fils enduits de gutta-percha, ou même d'un seul fil et de la terre, qui joignent les deux extrémités du fil de l'appareil d'induction avec les deux fils qui terminent la fusée. Un grand nombre d'essais ont été faits par MM. Ruhmkorff et Verdu, par M. Savart, et l'on a expérimenté successivement sur une longueur de fil variable de 400 mètres à 26 kilomètres, et le succès a toujours été complet. M. du Moncel, qui s'est également occupé de ce sujet, a pu, par une ingénieuse disposition, produire simultanément l'inflammation de plusieurs fourneaux de mines très-considérables faites pour les travaux de la rade de Cherbourg. Ainsi à la sécurité et à la facilité que présente l'emploi de cet appareil pour provoquer l'explosion de la poudre vient se joindre l'avantage de pouvoir opérer simultanément l'inflammation en des points différents.

INJECTEUR POUR L'ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. Inventé par M. H. Giffard. — Cette curieuse invention, déjà passée d'une manière sérieuse dans la pratique industrielle, malgré sa nouveauté, mérite autant d'intérêt au point de vue théorique qu'au point de vue pratique; car, comme nous essayerons de le montrer, il est presque impossible de ne pas conclure qu'elle conduit au mouvement perpétuel, si on n'applique pas convenablement la théorie dynamique de la chaleur que je m'efforce de formuler dans cet ouvrage.

Décrivons d'abord cet appareil et indiquons son importance industrielle.

Un appareil simple, économique et sûr, pouvant remplacer les pompes alimentaires et les retours d'eau, fonctionnant seul, une fois réglé, était bien désirable pour la pratique industrielle. C'est le rôle que remplit l'injecteur de M. Giffard.

La vapeur sort de la chaudière par le tuyau AB (fig. 3615) muni d'un robinet d'arrêt; elle pénètre dans



3615.

un second tube C, perpendiculaire au premier, par de petits trous : ce second tuyau est terminé en cône du côté de la chaudière.

L'extrémité du tube C est conique en dedans et en dehors, et elle peut être rapprochée ou écartée de la pièce H, qui est conique intérieurement, par le jeu du levier L; celui-ci agit sur une vis à pas rapide, et fait marcher le tuyau C, avec tout son système.

Une autre tige à vis E, terminée d'un bout par un cône, et de l'autre par une manivelle M, en reçoit le mouvement, et sert à régler ou même à intercepter entièrement le passage de la vapeur qui vient de la chaudière.

Un tuyau d'aspiration G plonge dans la bâche, et conduit l'eau aspirée par l'injecteur à l'extérieur du tuyau C.

JJ est un ajutage divergent qui reçoit l'eau amenée par le tuyau d'aspiration, et à laquelle la vapeur de la chaudière, en s'échappant par le bout conique du tube C, imprime une grande partie de sa vitesse en se condensant. Cet ajutage va en augmentant de diamètre du côté de la chaudière, et il est muni d'un clapet de retenue qui empêche l'eau de sortir du générateur quand l'appareil ne fonctionne pas. Un bouchon à vis Q permet de visiter à volonté le clapet. P est un tuyau qui conduit ensuite l'eau d'alimentation dans la chaudière.

Il y a enfin un tuyau de trop-plein ou de purge K, par lequel s'écoule l'excès d'eau que l'appareil peut aspirer.

La marche du système est facile à comprendre. La distance entre la bague H et l'extrémité conique du tuyau C, doit être réglée en raison du volume d'eau à introduire dans la chaudière en un temps donné ; elle ne doit jamais être moindre d'un centimètre. Le levier L et sa vis permettent ce règlement. L'eau ne doit jamais sortir par le tuyau de purge K quand l'alimentation fonctionne.

Lorsque l'appareil ne fonctionne pas, la tige à vis EE est à fond dans le cône et intercepte entièrement la vapeur. Dès qu'on fait faire un tour à la manivelle et que la vapeur, à la pression de la chaudière, s'échappe avec une très-grande vitesse par l'ouverture conique du tube C, elle fait le vide dans l'espace annulaire resté au milieu de la bague H ; l'eau de la bâche monte, appelée à une hauteur de 3 ou 4 mètres : le jet de vapeur qu'elle rencontre là se condense immédiatement, et en même temps cette vapeur imprime au volume d'eau appelé une vitesse et une force vive telles, que celle-ci soulève le clapet et pénètre dans le générateur. La vitesse de la colonne d'eau introduite est même telle que l'on est obligé de prendre des précautions pour ne pas produire des désordres à l'intérieur des chaudières.

Manœuvre de l'appareil. — La section annulaire qui sert de passage à l'eau étant réglée à un centimètre par exemple, qui est la section minima, et la tige à vis et à cône étant serrée à fond, à l'aide de la manivelle, pour intercepter le passage de la vapeur :

On ouvre le robinet B de la chaudière ; puis on fait faire un tour à la manivelle pour donner passage à la vapeur qui s'échappe avec vitesse et qui entraîne l'air contenu dans le système. Le vide se fait dans le tuyau d'aspiration, et l'eau qui monte remplit l'espace annulaire et condense la vapeur en s'échauffant.

Aussitôt que l'eau est arrivée et coule par le tuyau de trop-plein, on fait faire plusieurs tours à la manivelle, de manière à ouvrir entièrement le passage de vapeur.

L'eau qui sortait par le tuyau de trop-plein entre alors dans la chaudière, en vertu de la force vive et de la vitesse que lui a imprimées la vapeur.

On reconnaît que l'eau pénètre dans la chaudière à un sifflement particulier facile à reconnaître.

On doit régler le volume introduit en manœuvrant le levier L et ouvrant ou fermant plus ou moins le passage de l'eau, de manière que rien ne sorte par le tuyau de purge ; un regard R, qui est à l'origine du tuyau divergent, permet de voir le courant alimentaire injecté dans la chaudière.

Applications de l'appareil. — M. L. Bougère, ingénieur à Angers, a publié, en 1859, un mémoire sur l'injecteur de M. Giffard dans lequel la question des applications est traitée d'une manière complète.

Il fait remarquer que *les jets de vapeur* n'ont été utilisés jusqu'à ce jour dans les générateurs que comme sifflets d'alarme et comme moyens de tirage pour les locomotives ; l'injecteur en est une nouvelle et importante application.

M. Bougère signale quatre applications d'une grande utilité :

1° A la navigation à vapeur ;
2° Aux locomotives ;
3° Aux machines fixes des usines ;
4° A des usages divers.

Alimentation des bateaux à vapeur. — Les pompes qui alimentent les chaudières sur les bateaux à vapeur ont le défaut de ne plus fonctionner quand le bateau est arrêté, à des escales ou autrement ; ce qui force à jeter inutilement dans l'air la vapeur produite en excès, par suite de l'arrêt des machines.

L'injecteur remplacera très-avantageusement les pompes alimentaires pour les petits bateaux, et permettra d'utiliser à l'alimentation la vapeur en excès développée au moment des stoppages. Sur les grands steamers, on remplacera par un appareil simple et peu coûteux le petit cheval de 12 à 15 chevaux de puissance qui sert à alimenter les générateurs de mer, petit cheval qui occupe beaucoup de place et coûte très-cher d'entretien comme de graissage.

L'injecteur servira aussi, au besoin, de pompe de cale, et, pendant les combats, il enlèvera très-rapidement toute l'eau qui pourrait entrer à bord par une grande voie d'eau due à un boulet. Il servira aussi de pompe à incendie, et aucun incendie naissant ne pourra résister à son énergie.

Alimentation des locomotives. — L'utilité de l'injecteur est encore plus grande ici. Les pompes alimentaires des locomotives ne peuvent fonctionner et alimenter le générateur que quand la locomotive marche. Il faut donc pour alimenter, quand un convoi est arrêté, faire courir la locomotive seule sur la voie, ou s'exposer à des dangers. Plusieurs explosions produites après un repos eussent été sûrement évitées par l'emploi de cet appareil.

L'injecteur, au contraire, alimente sans moteur, sans que la locomotive se déplace, en utilisant l'excès de vapeur qui se produit lors des arrêts ; de plus, les pompes alimentaires ordinaires marchant à la vitesse des locomotives, c'est-à-dire à deux cents tours au moins par minute, sont dans de mauvaises conditions de service et d'effet utile, les clapets se dérangeant très-fréquemment à cette vitesse et s'usant très-vite.

Dans les machines à cylindres extérieurs, les pompes installées au dehors gênent beaucoup, et seront très-heureusement remplacées par l'injecteur. L'emploi sur les machines du chemin de l'Est de l'injecteur Giffard a tout à fait réussi ; pendant les froids intenses notamment, on a bien apprécié sa supériorité sur les pompes alimentaires dont les gelées empêchent le bon fonctionnement.

Alimentation des machines fixes des manufactures. — Avec l'injecteur, on alimentera à bon marché ; on supprimera alors les pompes alimentaires, qui sont toujours un outil sujet à dérangement. Dans beaucoup d'ateliers, on se sert de chaudières à vapeur sans machines à rotation, comme pour les marteaux-pilons, les raffineries de sucre, etc. ; l'injecteur rendra les plus grands services. Il remplacera avec grand avantage des *retours d'eau* très-compliqués et chers de construction et de service.

Théorie de l'injecteur. — La théorie de l'injecteur Giffard a été donnée dans le Bulletin de la Société d'Encouragement par M. Combes (de l'Institut), et elle permet de préciser le mode d'action de cet appareil. Nous rapporterons ici cet intéressant travail.

Un mètre cube de vapeur d'eau saturant l'espace à la température de 152 degrés et sous la pression correspondante de 5 atmosphères ou $5^k,165$ par centimètre carré pèse, en calculant son poids conformément aux lois de Mariotte et de Gay-Lussac, $2^k,5962$. Si l'on admet que la vapeur à cette densité et sous cette pression maintenues constantes s'écoule du vase qui la renferme dans l'atmosphère par un orifice qu'elle franchit en conservant toute sa densité, comme le ferait un liquide, sa vitesse de sortie serait, abstraction faite des résistances occasionnées par la forme de l'orifice, égale à $\sqrt{2g\frac{P-p}{q}}$, expression où g désigne la gravité, P et p les pressions respectives de la vapeur et de l'atmosphère sur l'unité superficielle et q le poids spécifique de la vapeur. Dans les conditions indiquées précédemment, $\frac{P-p}{q}=\frac{51650-10330}{2,5962}=15916$. D'ailleurs, $g=9,8088$. La vitesse de sortie de la vapeur serait donc, dans l'hypothèse admise, de $558^m,79$ par seconde, et la hauteur génératrice de vitesse $\frac{P-p}{q}$ de 15916 mètres.

Si l'on admet que, par suite de la forme du vase, de l'orifice, du tuyau qui y amène la vapeur, ou de toutes autres circonstances, la vapeur se dilate en avant de l'orifice, de manière à le franchir sous la densité correspondante à la pression atmosphérique même, sa température ayant été entretenue constante par une source de chaleur, pendant la dilatation qui a lieu à l'intérieur du vase, la vitesse de sortie sera, dans ce cas, donnée par l'expression $\sqrt{2g\frac{p}{q}\text{ log. hyp. }\frac{P}{p}}$,

où q exprime le poids spécifique de la vapeur sous la pression atmosphérique et à la température de 152 degrés, P, p et g ayant la même signification que précédemment. Le poids q est donné par l'équation :

$$q=0,622\times1,299\times\frac{1}{1+0,00366\times152}=0^k,519,$$

le rapport $\frac{P}{p}=5$; $\frac{p}{q}=\frac{10330}{0,519}$. En introduisant ces données numériques dans la formule (a), on trouve pour la vitesse d'écoulement de la vapeur sortant sous la pression atmosphérique, $792^m,82$ par seconde. La hauteur génératrice de cette vitesse :

$$\frac{p}{q}\text{ log. hyp. }\frac{P}{p}=32044\text{ mètres}[1].$$

Ceci signifie que la vapeur est animée, à sa sortie, d'une vitesse en vertu de laquelle ses particules considérées comme isolées et sans action les unes sur les autres remonteraient à une hauteur de 15916 mètres dans un espace vide de toute matière. En d'autres termes, la force vive dont la vapeur est animée à sa sortie correspond à un travail moteur égal au poids de cette vapeur élevé à une hauteur de 15916 mètres.

Ceci posé, la vapeur rencontre, immédiatement avant de passer dans l'atmosphère, de l'eau qui en opère brusquement la condensation et forme avec elle un jet entièrement liquide. La vitesse de l'eau qui vient condenser la vapeur est négligeable par rapport à la vitesse de celle-ci. Les réactions intérieures qui déterminent la condensation ne peuvent modifier la quantité de mouvement. Si donc on désigne par m la masse de vapeur qui s'écoule dans l'unité de temps, par M la masse de l'eau qui se mêle à cette vapeur condensée, pour former le jet liquide, par v la vitesse d'écoulement de la vapeur, par u la vitesse du jet après la condensation, on a la relation :

$$(m+M)\,u=mv,\quad\text{d'où : } u=v\times\frac{m}{m+M}$$

La masse d'eau M doit être suffisante pour opérer la liquéfaction complète de la vapeur.

Soit la température de l'eau égale à 15 degrés. Nous pouvons, pour un calcul approximatif, admettre que la vapeur abandonne, en se condensant, 550 unités de chaleur. Si l'on veut que le jet liquide soit à la température de 60 degrés, le rapport de M à m sera déterminé par l'équation :

$$M\times15+m\times650=(m+M)\,60,\text{ d'où :}$$

$$M=\frac{590}{45}\times m=13,11\times m.$$

Il faudra donc que le poids de l'eau soit, dans les conditions fixées ci-dessus, 13 fois environ le poids de la vapeur.

En admettant que le poids de l'eau soit 15 fois celui de la vapeur, on trouvera que la température du jet liquide serait de 57 à 58 degrés, l'eau étant toujours prise à la température de 15 degrés. Soit donc $M=15m$; la vitesse u du jet sera $\frac{1}{16}$ de la vitesse de la vapeur, et la hauteur à laquelle il remonterait en vertu de cette vitesse serait par conséquent $\frac{1}{16^2}\frac{v^2}{2g}$, tandis que les particules de vapeur isolées seraient remontées à la hauteur $\frac{v^2}{2g}$. Mais le poids du jet liquide étant égal à 16 fois celui de la vapeur, on voit que sa force vive est égale à $\frac{1}{16}$ de celle de la vapeur, avant sa condensation.

La vitesse du jet liquide étant toujours $\frac{1}{16}$ de celle de la vapeur sera $\frac{558^m,79}{16}=34^m,92$ par seconde. Si elle est supérieure à celle avec laquelle l'eau à la température du jet jaillirait de la chaudière dans l'atmosphère sous la pression intérieure de 5 atmosphères, on comprend fort bien que le jet liquide, étant lancé dans un ajutage de forme appropriée communiquant à l'intérieur de la chaudière, entrera dans celle-ci en refoulant l'eau qui tendrait à en sortir. Or si, faisant abstraction de l'influence et de la dilatation de l'eau de 15 degrés à 57 ou 58 degrés, nous prenons 1 kilogr. pour le poids du litre d'eau composant le jet liquide, nous aurons, pour la vitesse avec laquelle l'eau à cette température tendrait à passer de la chaudière dans l'atmosphère, $\sqrt{2g\times41^m,32}$, $41^m,32$ étant la hauteur d'une colonne d'eau qui fait équilibre à une pression de 4 atmosphères, $\sqrt{2g\times41,32}=28^m,37$, vitesse assez au-dessous de la valeur trouvée de la vitesse du jet liquide, pour que l'on puisse regarder comme certaine la possibilité de faire entrer dans la chaudière, avec la vapeur condensée qui en émane, un poids d'eau égal à 15 fois celui de cette vapeur. L'eau entrante sera à la température d'environ 57 degrés.

On voit que le jet liquide ne pourrait plus entrer dans la chaudière, si sa vitesse tombait jusqu'à $28^m,37$

[1] Nous ne suivrons pas l'auteur dans l'application de cette seconde manière de faire le calcul de la vitesse ; on doit la considérer comme bien plus éloignée de la vérité que la première depuis que Poncelet a établi, en discutant les expériences de Pecqueur, que les formules d'écoulement des liquides s'appliquaient à l'air comprimé.

INJECTEUR.

par seconde. Or, c'est ce qui arriverait pour un poids d'eau égal à $\frac{558,79}{28,37} - 1 = 18,7$ fois le poids de vapeur. Ainsi, la quantité d'eau qu'il est possible d'introduire dans la chaudière, au moyen de l'appareil injecteur, serait au plus 18 fois le poids de la vapeur qui alimente l'appareil.

Le volume d'eau alimentaire qu'il est possible de faire entrer dans une chaudière, au moyen de l'injecteur de M. Giffard, va en augmentant à mesure que la pression effective, c'est-à dire l'excès de la vapeur sur celle de l'atmosphère extérieure, diminue. Ainsi, par exemple, si la pression effective n'est que d'une demi-atmosphère, le poids du mètre cube de vapeur, sous cette pression et à la température correspondante de 111°, sera de $0^k.8349$.

La formule $V = \sqrt{2g \frac{P-p}{q}}$ donne, dans ce cas, pour la vitesse de la vapeur jaillissant dans l'atmosphère,

$$V = \sqrt{2 \times 9,8088 \times \frac{4710}{0,8349}} = 332 \text{ mètres par}$$

seconde.

La vitesse avec laquelle l'eau liquide jaillirait, sous la pression de $5^m.165$ d'eau, hauteur équivalente à une demi-atmosphère, serait seulement de 10 mètres par seconde en nombre entier; d'où il suit que la vapeur pourrait entraîner plus de 30 fois son poids d'eau, le jet liquide conservant encore une vitesse suffisante pour pénétrer dans la chaudière. La limite déterminée ainsi grossièrement est sans doute trop élevée, parce que, d'une part, la vitesse de la vapeur est diminuée par les résistances des tuyaux et de l'embouchure, et que, d'autre part, la densité du jet liquide est diminuée par l'élévation de température, par la vapeur imparfaitement condensée peut-être et l'air entraîné. Mais il n'en est pas moins certain que l'alimentation sera d'autant mieux assurée et pourra être d'autant plus abondante que la pression effective sera moindre dans la chaudière.

Il n'en résulte pas cependant, comme la pratique l'a montré sur les locomotives, que l'appareil réglé pour une pression élevée le soit pour une pression moindre. Ainsi, si l'appareil est monté pour alimenter en utilisant la totalité du jet liquide une chaudière dans laquelle la pression soit de 7 atmosphères, par exemple; si la pression vient à s'abaisser à deux atmosphères, le poids de vapeur pour une même ouverture diminuant rapidement pendant l'unité de temps, en raison composée des décroissements de vitesse et de densité, la quantité d'eau mêlée à la vapeur devient trop grande et sort par l'orifice d'évacuation. Il faut enfoncer le cône pour diminuer le passage de l'eau, car la quantité injectée pour un même passage de vapeur doit décroître avec la pression intérieure, bien que le rapport du poids de l'eau à celui de la vapeur aille en augmentant.

Considéré comme appareil d'alimentation des chaudières à vapeur, l'injecteur de M. Giffard est, sans contredit, le meilleur de tous ceux que l'on ait employés ou même que l'on puisse employer, comme il en est le plus ingénieux et le plus simple. Si l'on suppose, en effet, que, conformément aux notions anciennement admises, la quantité de chaleur contenue dans les corps se conserve intégralement à travers les changements de volume et d'état qu'ils subissent, indépendamment des quantités de travail moteur ou résistant qui sont les conséquences de ces changements, il est clair que le jeu de l'appareil de M. Giffard ne donnera lieu à aucune autre perte de chaleur qu'à celle qui aura lieu par radiation ou contact de la chaudière et de ses appendices avec le milieu ambiant. L'alimentation aurait lieu gratuitement.

Si, conformément aux principes plus rationnels de la nouvelle théorie dynamique de la chaleur, on admet que la chaleur se transforme en travail moteur et réciproquement, de sorte que tout travail moteur ou résistant, toute force vive développée ou détruite dans les changements de volume ou d'état des corps, soient accompagnés d'une disparition ou d'une production de chaleur équivalente, la quantité de chaleur dépensée, dans le jeu de l'appareil Giffard, sera précisément, abstraction faite des pertes par radiation ou contact avec le milieu ambiant, équivalente au travail moteur qui correspond à l'élévation de la quantité d'eau alimentaire du réservoir où elle est située et à son refoulement dans la chaudière sous la pression qui y existe. Nous sommes donc fondé à dire que l'appareil de M. Giffard est un appareil d'alimentation théoriquement parfait pour les chaudières à vapeur. L'auteur a prouvé que les dimensions peuvent en être combinées de manière qu'il fonctionne dans des conditions matérielles qui approchent beaucoup de cette perfection théorique.

Mais les machines qui seraient construites sur les mêmes principes que l'appareil de M. Giffard, pour être appliquées à l'élévation de l'eau, ou plus généralement à la mise en mouvement de masses liquides ou gazeuses, la chaleur contenue dans le jet formé du mélange de la vapeur et des liquides ou gaz entraînés par elle étant inutile au résultat final, seraient de très-mauvaises machines au point de vue de l'économie du travail moteur. Ainsi, nous avons vu que, si la vapeur entraîne n fois son poids d'eau ou de tout autre fluide, la force vive du jet est réduite à la fraction $\frac{1}{1+n}$ de la force vive dont la vapeur était primitivement animée, de telle sorte que la force vive perdue est la fraction $\frac{n}{n+1}$ de la force vive primitive. Cette perte augmente énormément avec le rapport du poids entraîné au poids de la vapeur, et ce rapport serait en général très-grand.

Un jet de vapeur sortant avec la vitesse due à une pression de 5 atmosphères peut entraîner 50 fois son poids d'eau et l'élever à une hauteur qui sera à peu près égale à $\frac{1}{2g} \times \left(\frac{558,79}{51}\right)^2 = 6$ mètres en nombre rond. La perte de travail moteur sera, dans cette hypothèse, les $\frac{50}{51}$ du travail total qu'aurait pu développer la vapeur agissant à pleine pression, sans détente et sans condensation, contre la pression atmosphérique extérieure.

Si un jet de vapeur, animé de la même vitesse que précédemment, entraîne 10 fois son poids d'air atmosphérique, jouant ainsi le rôle de machine soufflante, quelque bien disposé que l'on suppose l'appareil, la force vive dont sera animé le jet d'air humide ne pourra dépasser $\frac{1}{11}$ de la force vive de la vapeur, c'est-à dire du travail théorique que la vapeur, agissant contre la pression atmosphérique et sans condensation, aurait pu développer.

Les appareils de ce genre, dont on fait et dont on pourrait à l'avenir faire usage, peuvent être sans doute d'un emploi avantageux, dans des circonstances spéciales, en raison de leur extrême simplicité; mais ils n'en restent pas moins de très-mauvaises machines, au point de vue de l'économie de la force motrice. C'est ce dont M. Giffard s'est très-bien rendu compte. Le mérite de son ingénieuse invention consiste donc dans l'application aux chaudières à vapeur et dans l'exécution d'un appareil qui fonctionne avec une

facilité et une régularité parfaites; qui, par exemple, à la manufacture impériale des tabacs, suffit pour alimenter des chaudières de 200 chevaux de force, où il injecte par heure, suivant ce qui nous a été dit, jusqu'à 4 mètres cubes d'eau.

Quelques personnes ont élevé des prétentions à l'antériorité de l'invention de M. Giffard. Si elles n'ont pas utilisé le jet de vapeur d'une chaudière pour l'alimentation de cette chaudière elle-même, ou réalisé d'autres applications où la chaleur contenue dans le jet entraîné par la vapeur joue le rôle principal, elles n'ont fait, à notre avis, que de mauvaises machines, fondées sur le fait bien connu et appliqué depuis longtemps dans les trompes, les tuyères des locomotives, etc., de l'entraînement des liquides ou des gaz par communication latérale.

Observations. — La savante analyse de M. Combes me paraît insuffisante en un point qu'il importe de compléter. Il admet comme conséquence de la théorie dynamique de la chaleur qu'il disparaît une quantité de chaleur correspondant exactement à l'élévation et au refoulement de l'eau dans la chaudière, et il en conclut que l'appareil est théoriquement parfait. Or, il est [illegible] de voir que les choses ne se passent pas tout [illegible] ainsi. La force vive de la masse liquide qui est en mouvement pour pénétrer dans la chaudière, ne suit pas d'autres lois que les lois de la mécanique; il n'y a là qu'un fait mécanique ordinaire, et le travail correspondant à cette force vive ne se convertit nullement en chaleur. La soupape est repoussée par l'eau en mouvement, et celle-ci pénètre dans la masse de l'eau de la chaudière où sa vitesse s'amortit par des tourbillonnements, absolument comme si elle était lancée par une pompe foulante.

Toute la chaleur contenue dans la vapeur se retrouvant d'ailleurs dans l'échauffement de l'eau qui la condense, le calcul de la chaleur ou du travail dépensé dans l'injecteur Giffard se réduit à celui de la force vive imprimée à la vapeur par la pression intérieure de la chaudière; c'est l'action directe de la vapeur qui fait alors mouvoir une espèce de pompe exempte de toutes *résistances nuisibles*. Cet avantage, aussi bien que la simplicité de l'appareil, doivent en assurer la supériorité sur tout système de pompes; mais au point de vue exclusif de l'économie du travail moteur, il peut exister des cas où une pompe conduite par une machine à vapeur à longue détente, utilisant très-complétement le pouvoir moteur de la vapeur et injectant l'eau avec une très-petite vitesse, serait plus économique que l'injecteur Giffard. Ainsi, prenant les chiffres de M. Combes, qui admet, avec raison, que la vitesse d'entrée doit être bien plus grande que celle virtuelle de sortie de l'eau, et comparant la force vive $\frac{mv^2}{2}$ pour $V = 35^m$, et pour 1 kilog. dans le cas d'une pression de 5 atmosphères, le travail consommé par l'alimentation ou celui de la force vive qui se détruit dans la chaudière est de 68 kil. mèt., et le travail PV d'une pompe alimentaire (en négligeant les frottements intérieurs et supposant nulle la vitesse de l'eau injectée, qui peut seulement être très-petite) est pour 1 kilog. peu supérieur à $10330 \times 5 \times 0{,}001 = 51$.

A cela, il importe d'ajouter que l'injection élevant la température de l'eau d'injection, on ne peut utiliser toute la chaleur de l'eau qui sort du condenseur à une température de 40°. En effet, l'eau est alors portée à 80°; à cette température, la condensation ne se fait plus convenablement, et l'injecteur crache, comme l'a constaté expérimentalement M. Dollfus, de Mulhouse.

Il est intéressant d'examiner comment se produit la consommation de chaleur qui correspond au travail d'alimentation, d'après la nouvelle théorie, car pour l'ancienne, son inexactitude est évidente par le jeu de l'appareil dont nous parlons, puisqu'un effet sans cause serait produit, si on l'admettait, toute la chaleur communiquée à la chaleur passant dans l'eau d'alimentation.

Il faut remarquer que le travail de la vapeur, lorsqu'elle arrive dans le cylindre d'une machine à vapeur, qu'elle travaille à pleine pression, ne coûte en apparence aucune chaleur; on retrouve dans le condenseur toute la chaleur que la vapeur a dû apporter dans le cylindre, et M. Hirn a démontré surabondamment que ce n'est que lorsque la détente a lieu qu'il y a consommation de chaleur. Il y aurait donc là un effet sans cause, et c'est une erreur dans laquelle sont tombés plusieurs savants du premier ordre, en traitant de la machine à vapeur. Elle résulte de ce qu'on ne considère que le cylindre à vapeur, tandis qu'on doit considérer la totalité de la vapeur qui travaille, c'est-à-dire celle qui est renfermée dans la chaudière qui, lors de l'action directe, travaille aussi bien que celle du cylindre, vapeur dont le volume est très-grand relativement à celle qui est déjà parvenue dans le cylindre. C'est dans cette chaudière que se produit la consommation de chaleur qui correspond à l'action directe, à la force vive de la vapeur qui sort de la chaudière.

Il est facile, d'après cela, de calculer le travail consommé par l'injecteur Giffard. Ayant déterminé le volume V de vapeur qu'il consomme, ce qui est facile, connaissant l'orifice de sortie et la pression P de la vapeur, PV sera le travail en kilogrammètres qui correspondra à la force vive de la vapeur. Cette dépense, d'après les calculs de M. Combes, correspond au travail direct d'environ $\frac{1}{14}$ du poids de l'eau ou de la vapeur utilisée dans la machine et qui y a en quelque sorte un double emploi. On en tiendra compte dans le calcul du travail utile de la machine à vapeur, relativement à la consommation du combustible, en prenant $\frac{1}{14}$ du travail de l'action directe de la vapeur, si on ne le calcule directement. Cette fraction de force vive, d'après l'analyse précédente, sera consommée pour l'alimentation à l'aide de l'injecteur Giffard, et fournira (divisée par l'équivalent mécanique de la chaleur) la mesure de la quantité de chaleur qui aura été consommée dans la chaudière par la détente de la masse de vapeur qui y est contenue, pour lancer la petite quantité qui produit l'alimentation.

INJECTION, CONSERVATION DES BOIS. Tandis que les besoins en bois de toute nature augmentent dans une proportion d'autant plus grande que les chemins de fer s'étendent ou renouvellent leur matériel en traverses, les forêts s'éclaircissent et disparaissent. Aussi les esprits se sont-ils tournés, dans ces derniers temps surtout, vers la recherche des moyens de préserver le bois en œuvre d'une destruction certaine ou tout au moins rapide. Déjà, à l'époque où le bois abondait, on s'était occupé de prolonger sa durée. Mais, outre que les essais faits à ce sujet, dans les temps les plus reculés, sont tombés dans l'oubli, ils n'avaient pas cette valeur industrielle qu'on exige de nos jours des applications scientifiques. Il est évident que, dès les temps les plus reculés, on a dû être frappé des propriétés conservatrices des résines, comme aussi du changement qu'opéraient la silice ou les bicarbonates de chaux dans les diverses espèces de bois pétrifiés.

Nous avons vu nous-même des blocs de châtaignier imprégnés de sulfate de baryte parfaitement conservés dans des terrains très-anciens.

On trouve dans beaucoup de mines des madriers qui ne pourrissent pas. Ce phénomène est surtout remarqué dans les exploitations de sel gemme.

Mais ce qui peut paraître extraordinaire au premier abord, c'est la conservation du bois dans un petit lac

d'eau limpide et pure, le lac de l'Agoraia, situé sur les escarpements des Apennins. Les eaux de ce lac sont fraîches et se maintiennent toujours, été comme hiver, à la même température. Il existe dans ce lac un véritable amas de sapins échafaudés les uns sur les autres et dans un état parfait de conservation.

Depuis quand ces arbres sont-ils enfouis dans ces eaux? Personne ne le sait ; mais la date de leur immersion dans le lac est certainement très-reculée, puisque tout à l'entour il n'existe plus, à dix lieues à la ronde, aucun arbre de la même essence. Tous les sommets qui dominent et embrassent aujourd'hui la gorge de l'Agoraia sont exclusivement occupés par du hêtre.

Il faut bien en conclure que l'eau ayant lavé les matières albumineuses du tissu ligneux, les sapins du lac de l'Agoraia toujours maintenus dans un même milieu et à une température constante se trouvent placés dans des conditions de conservation indéfinie.

Nous devons ajouter que nous n'avons pu découvrir aucun être vivant dans cet estuaire ; mais à peine l'eau s'en est-elle échappée en formant un petit ruisseau, que la vie animale apparaît tout aussitôt par la présence de la salamandre et d'une multitude d'insectes aquatiques.

Nous ne doutons pas que si les sapins du lac de l'Agoraia étaient enlevés aux conditions normales dans lesquelles ils se trouvent, pour être exposés à des alternatives de sécheresse et d'humidité, ou soumis à des absorptions de substances azotées, à l'abri desquelles ils paraissent être aujourd'hui, ils n'éprouvassent en peu de temps une altération rapide, comme la plupart des bois employés à l'état ordinaire par l'industrie et l'architecture.

Il faut reconnaître que le choix des substances pour injecter le bois en vue de sa conservation constitue un problème d'une solution difficile, qui doit peut-être différer selon les circonstances auxquelles la matière doit servir. Ainsi le sulfate de cuivre, qui est accepté en France comme un des meilleurs préservatifs, ne résiste pas dans des terrains imprégnés de déjections ammoniacales. Le bois préparé avec cette substance ne jouit pas dans cette circonstance de plus de durée que le bois naturel. C'est ce qui explique, aux approches des villages, la destruction facile des poteaux de télégraphe et des traverses de chemin de fer, injectés au sulfate de cuivre. On sait que le cuivre est dissous par l'ammoniaque.

Il est probable que, par la même raison, le sulfate de cuivre, à part même l'atteinte des chlorures, ne tiendrait pas davantage dans les eaux d'un port de mer exposé à recevoir les égouts et les immondices de la ville.

De même, les madriers qui ont une durée indéfinie dans les mines de sel gemme subiraient une destruction certaine, s'ils étaient placés dans des circonstances autres que celles où ils se trouvent, comme, par exemple, à un lavage continu d'une eau mouvante.

Le sulfate de baryte, une des substances les plus insolubles que l'on connaisse, qui résiste aux décompositions ammoniacales comme à l'action des chlorures, et possédant d'ailleurs des qualités antiseptiques suffisantes, nous paraît la matière la plus convenable qu'on puisse adopter pour l'injection des bois.

Ces qualités spéciales du sulfate de baryte n'avaient pas échappé à Payn, et l'Angleterre a longtemps exploité le procédé de cet inventeur. C'est par la double décomposition, dans le corps du bois, du sulfate de fer et du sulfure de barium, deux sels solubles, que l'injection avait lieu.

En France, un brevet a été pris par M. Lemonnier pour une opération semblable, en faisant usage du sulfure de strontium, au lieu d'un sel de baryte.

Le reproche que l'on adresse au sulfate de baryte, comme au sulfate de strontiane, c'est leur trop grande inertie. Mais ce défaut, si défaut il y a, est facile à corriger par l'addition simultanée d'un sel à réaction plus active. Toutefois, nous devons faire observer ici que la double décomposition entre le sel de fer et le sel de baryte ou de strontiane, présente dans le tissu ligneux des difficultés qui en rendent le succès incertain et incomplet. L'albumine d'abord empêche par sa présence l'opération de s'effectuer. Ensuite l'injection du sulfate de fer n'étant pas simultanée avec l'injection de l'autre sel, il arrive que l'un des liquides dans les tubes capillaires du bois chasse l'autre, sans que le mélange, et, par conséquent, la double décomposition aient lieu.

Nous dirons plus tard comment l'injection au sulfate de baryte doit être faite pour donner un résultat assuré. Quoi qu'il en soit, le sulfate de baryte, dans les conditions où on l'employait, et, avec lui, le système d'injection du bois par double décomposition, durent être abandonnés pour d'autres substances et pour le procédé de simple injection.

Il est certain que, sans parler des époques qui ne sont pas de notre ère, l'injection simple ou directe est de plus vieille date que la double décomposition. Dès 1813, M. Champy introduisit du suif dans des bois destinés à servir de revêtements aux murs intérieurs d'une poudrerie, afin de la preserver contre l'humidité. L'opération fut faite par immersion dans un bain de suif fondu.

Kyan fit usage, pour une serre du duc de Devonshire, du bichlorure de mercure.

Mohl préconisa le premier la créosote et l'injecta dans le bois en exposant celui-ci à la vapeur de cet agent.

M. Bréant (1831) essaya diverses substances; mais celle à laquelle il semble, avec raison, avoir donné la préférence est un mélange de résine et d'huile de lin lithargirée. On ne peut reprocher qu'un prix trop élevé à cette préparation.

M. Boucherie, dès 1837, appela l'attention des savants sur le sulfate de cuivre surtout.

L'amirauté anglaise a, de son côté, longtemps protégé l'emploi du chlorure de zinc.

L'acide arsénieux, le pyrolignite de fer, les chlorures de barium, divers sels de chaux et plusieurs autres substances antiseptiques ont été tour à tour essayées et abandonnées.

M. Costin indiqua, contre les termites, l'arsénite de potasse en mélange avec le savon demi-liquide.

M. Gay-Lussac proposa l'usage des phosphates et des borates d'ammoniaque, et M. Fuchs du silicate soluble de potasse, mais dans le but spécial de préserver le bois contre l'inflammabilité. M. Carteron paraît aujourd'hui avoir repris cette question en la développant et en l'appliquant à divers usages.

Nous ne parlerons pas de l'injection des bois comme moyen de coloration, cette question ayant déjà été traitée dans ce dictionnaire au mot : COLORATION DES BOIS.

Aujourd'hui les deux substances le plus souvent employées pour la conservation du bois sont : le sulfate de cuivre et la créosote, ou mieux les goudrons liquides provenant de la distillation de la houille dans la fabrication du gaz et qui sont riches en créosote. En France, on fait principalement usage de la première de ces substances, et en Angleterre, de la seconde.

Nous avons dit les défauts du sulfate de cuivre, nous exposerons à leur tour les inconvénients de la créosote. On lui reproche d'être d'un prix trop élevé en France, d'exhaler une odeur forte et désagréable, qui limite l'emploi des bois qui en sont injectés, et d'ajouter à leur inflammabilité. Nous laissons à nos lecteurs le soin d'apprécier à quel degré et dans quels cas ces reproches doivent être acceptés. Mais un fait qui a quelque importance pour les chemins de fer, c'est que les chevilles qui rivent les coussinets aux traverses éprouvent à

leur surface, noyée dans la traverse, un commencement de décomposition, si la substance injectée a été du sulfate de cuivre. Cela se comprend aisément. Il en résulte que ces chevilles prennent si fortement racine dans les traverses qu'il n'y a pas d'autre remède que de les briser dans un remaniement de la voie ferrée, quand il s'agit d'un changement de coussinets. Il n'en est pas ainsi pour la créosote ni pour le sulfate de baryte.

Après avoir énuméré la plupart des substances préservatrices qui ont été essayées par l'industrie dans l'injection des bois, il convient de jeter un coup d'œil sur les moyens qui servent à opérer l'introduction de ces substances dans le tissu ligneux.

Le bois semble être formé d'une suite de cellules à paroi ligneuse, placées l'une au bout de l'autre, de manière à former, du pied de l'arbre à la cime, comme un faisceau de conduits capillaires. C'est par ces conduits que la plante distribue la séve des racines jusqu'à l'extrémité des feuilles. C'est par ces conduits aussi que l'industrie arrive à introduire ses réactifs dans le corps du bois et qu'elle va atteindre l'albumine végétale, soit pour la chasser, soit pour la modifier.

L'albumine, en effet, de concert avec les autres principes azotés que la séve transporte, est considérée comme la cause principale de l'altération que les végétaux éprouvent, aussitôt que, par une cause quelconque, ils se trouvent soustraits aux conditions de leur existence. C'est par l'albumine que la fermentation se transmet et se développe dans les bois coupés. Elle sert, en outre, d'aliment ou d'engrais aux végétations cryptogamiques, d'amorce et de nourriture aux vers et aux insectes, qui concourent tous à la destruction anticipée de la plante.

On comprend donc l'importance qu'il y a d'enlever au bois les principes azotés qu'il retient dans les cellules de son tissu. Les arbres plongés dans le lac de l'Agorais démontrent surabondamment cette vérité. C'est au simple lavage de l'albumine par les eaux pures du lac que ces arbres doivent leur état de conservation.

Mais si la simple soustraction de l'albumine suffit déjà pour donner au bois, dans des positions spéciales, une durée indéfinie, il convient, en outre, de préserver le tissu ligneux de nouvelles absorptions, capables de l'altérer, en le mettant à l'abri par des préparations chimiques possédant tout à la fois la propriété de transformer l'albumine qui n'aurait pas été éliminée et celle de résister elles-mêmes à l'action des milieux où le bois doit être employé.

Il était utile de bien caractériser ce double mouvement d'endosmose et d'exosmose, d'absorption et d'expulsion auquel on peut soumettre le tissu ligneux et qui a lieu dans le sens de la longueur de la plante, jamais ou rarement du moins d'une couche annulaire à l'autre, pour bien faire comprendre les moyens et les appareils imaginés pour l'injection.

Le moyen le plus simple qui a dû se présenter à l'esprit pour imbiber le bois d'une substance préservatrice a été l'immersion dans un bain de cette substance, comme le prouvent les expériences du baron de Champy, qui fit digérer ses bois dans un bain de suif fondu, maintenu à 130° de température.

La plus grande portion de l'eau engagée dans le tissu ligneux fut chassée par la chaleur du bain ; et les pièces soumises à l'expérience purent absorber en suif jusqu'au cinquième de leur poids.

L'immersion a été employée par M. Knab pour injecter au sulfate de cuivre, soit à froid, soit à chaud, les traverses déjà débitées des chemins de fer.

Un des appareils dont M. Knab a fait usage mérite d'être signalé par son originalité : c'était dans un bassin en caoutchouc qu'il disposait son bain. Cela lui permettait de transporter facilement son chantier d'injection sur tous les points d'une voie ferrée en construction et de l'établir là où il y avait des traverses à opérer. Il lui suffisait, pour changer de place, de plier son bassin et de le charger sur un simple chariot.

D'ailleurs, le caoutchouc avait l'avantage sur les vases de fer de ne pas introduire le sulfate de fer dans le bois. On sait, comme M. Bréant l'a fait connaître, que ce sel à l'état de protosulfate surtout conserve une réaction acide, qui par son action prolongée sur le tissu ligneux finit par y déterminer des effets de désagrégation.

Aussi, quand on fait usage, comme substance d'injection, du sulfate de cuivre, doit-on tenir la dissolution dans des récipients de cuivre même, comme l'ont très bien compris MM. Legé et Fleury-Pironnet dans leur appareil perfectionné.

Quelques injecteurs, en présence du prix trop élevé de ce métal, se sont contentés de revêtir de bois la tôle de fer dont ils font usage, afin d'empêcher le contact immédiat de la dissolution cuivreuse avec le fer. Mais nous doutons que ce moyen soit d'une efficacité irréprochable, surtout dans le cas d'injection à vase clos et par pression.

L'injection par pression et à vase clos semble avoir été employée pour la première fois par M. Bréant, dans le but d'obtenir une pénétration plus profonde et plus parfaite du tissu ligneux par les substances préservatrices.

La pression peut être exercée par la différence de niveau du liquide injectant, ou par l'entremise d'une pompe foulante.

Il est évident que si on ajoute au vase d'injection un tube plein de la dissolution voulue, la pression qu'on exercera dans l'intérieur de ce vase sera proportionnelle à la hauteur du tube au-dessus du bain. Mais les élévations nécessaires pour obtenir une pression supérieure à une atmosphère sont trop considérables pour que le système soit, en fait, d'une application facile. Avec la pompe foulante, on peut arriver jusqu'à 10 et 12 atmosphères.

M. Bréant ne tarda pas, dans ses expériences, à s'apercevoir que lorsque les vaisseaux capillaires du bois étaient engorgés naturellement, ils présentaient une résistance souvent invincible à l'injection ; il pensa donc à leur enlever avant tout les gaz et les liquides qu'ils pouvaient recéler. Pour cela faire, il commença par opérer le vide au moyen d'une pompe aspirante, dans le vase clos où il enfermait ses bois ; puis le vide opéré, il ouvrait le robinet de communication avec le récipient du liquide injectant. Le vase clos en était bientôt rempli. Il fermait alors cette communication pour soumettre son appareil à la pression voulue.

C'est par ce moyen qu'il parvint même à faire pénétrer dans le bois l'alliage fusible de Darcet.

Toutefois, les appareils de M. Bréant étaient exécutés sur une échelle trop modeste pour être parfaitement industriels. MM. Bethel et Payn, en Angleterre, construisirent sur de grandes dimensions un cylindre d'injection, où le vide s'obtenait par un jet de vapeur qu'on soumettait ensuite au refroidissement et même à l'absorption d'une pompe aspirante, afin que le résultat en fût plus parfait. Mais ce refroidissement, en contractant les pores du bois, ne nuisait-il pas à l'opération ?.

Nous ne décrirons pas cet appareil, parce que, ayant été encore perfectionné dans ces derniers temps en France par MM. Legé et Fleury-Pironnet, il est inutile que, décrivant celui de ces derniers inventeurs, nous fassions une description qui se trouve nécessairement comprise dans l'autre.

L'appareil de MM. Legé et Fleury-Pironnet consiste dans un cylindre horizontal de 12 mètres de long sur $1^m,60$ de diametre, en cuivre laminé, puisque ces deux inventeurs emploient le sulfate de cuivre comme liquide injectant.

Le cylindre est fermé sur un de ses bouts par une cloison semi-sphérique fixe et sur l'autre par une porte en calotte, qui s'ouvre autour d'une charnière glissante.

Les parois de ce vaste récipient ont dix millimètres d'épaisseur, afin qu'elles puissent résister à la pression extérieure quand on fait le vide dans l'intérieur, et tout à la fois à la pression intérieure quand on y exerce un refoulement de 10 à 12 atmosphères.

Un chemin de fer, qui peut être mis, au moyen d'un truck, en communication avec des chemins de fer extérieurs, est pratiqué dans le corps du cylindre

Les bois à injecter sont placés sur de petits chariots, dont les garnitures métalliques et les roues sont en cuivre. Trois de ces chariots, chargés chacun de 40 traverses, peuvent être introduits en file dans l'appareil (fig. 3616).

La porte de celui-ci étant ouverte, on chasse facilement le convoi sur le chemin de fer intérieur. Une fois entré, on ferme la porte derrière les wagons, et, pour plus de précaution, on la boulonne au cylindre sur un rebord ou couronne disposé à cet effet.

Ces précautions prises, on commence tout aussitôt les opérations d'injection.

Première opération. — Toutes les communications du cylindre sont fermées, excepté celle qui mène au générateur à vapeur.

Ce générateur est celui d'une machine locomobile de la force de 12 chevaux, placée sur un des côtés du cylindre et qui est destinée à faire mouvoir les divers corps de pompe annexés à l'appareil et dont on verra plus tard l'usage.

Au moment où l'introduction de la vapeur dans le corps du cylindre a lieu, on ouvre un robinet percé en contre-bas de ce cylindre du côté opposé à celui de l'arrivée de la vapeur.

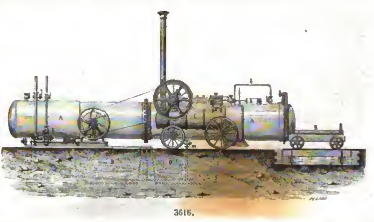
La vapeur chasse l'air du cylindre, échauffe les pièces de bois et les dilate; elle lave les matières solubles que ces pièces renferment et qui sont plus ou moins abondantes, suivant l'âge d'abatage des plantes; puis, s'échappant par le robinet ouvert, elle traverse tout un système de serpentins ménagés dans les cuves où la dissolution cuivreuse se trouve emmagasinée. Cette dissolution est portée à 45° de température environ par ce passage de la vapeur.

Cette première opération est d'une durée variable, suivant l'essence, les dimensions, l'âge d'existence des bois soumis à l'expérience et même leur âge d'abatage. Toutefois on peut calculer qu'elle exige en moyenne 20 minutes de temps.

Deuxième opération. — Après avoir fermé le robinet d'introduction de la vapeur et celui de sortie *m*, on opère le vide, par la condensation de la vapeur accumulée dans le cylindre et tout à la fois par l'absorption de cette vapeur et des gaz du bois, au moyen d'une pompe aspirante.

MM. Béthel et Payn opéraient la condensation dans le cylindre lui-même, en y faisant arriver un jet d'eau froide. L'action de la pompe aspirante suivait ensuite. Mais le refroidissement, qui était la conséquence de ces opérations, devait contrarier l'injection en resserrant les pores du bois.

MM. Legé et Fleury font usage d'un condenseur E séparé du corps de cylindre.



3616.

Quand l'opération du vide commence, que les robinets d'entrée et de sortie de la vapeur dans le cylindre sont fermés, la pompe à air agit dans ce système à l'intérieur de ce cylindre à travers du condenseur, qui reçoit seul le jet d'eau froide. La pompe à air absorbe à la fois la vapeur condensée et les gaz libres, pour les refouler dans une bâche disposée à cet effet.

Cette opération dure 14 minutes environ. On pousse le vide jusqu'à faire descendre la tension intérieure du cylindre à 0m,06 de mercure.

Troisième opération. — Le vide effectué, on passe à l'injection. On ferme le robinet du condenseur, pour ouvrir celui *m* qui est en communication avec la dissolution cuivreuse, placée dans des cuves au-dessous de l'appareil.

Cette dissolution a été chauffée, comme nous l'avons dit, par la vapeur de la première opération.

La dissolution s'élève dans le vide du cylindre, et quand l'équilibre est rétabli, on referme le robinet *m*, pour ouvrir les robinets *c* et *a*, qui mettent l'intérieur du cylindre en relation avec les cuves à dissolution, à travers une pompe aspirante et foulante *p*, qui absorbe le liquide des cuves et le refoule dans le cylindre. On obtient ainsi un refoulement à 12 atmosphères, qu'on soutient au même degré, à mesure que le bois se pénètre de liquide injectant.

Cette opération dure plus de 53 minutes.

Quatrième opération. — On ferme les robinets *a* et *c*,

et l'on arrête le mouvement de la pompe p'. On ouvre le robinet ou soupirail d'air s du cylindre et le robinet de cuve m. Le liquide qui a servi à l'injection s'écoule aussitôt du cylindre et retourne dans les réservoirs.

Il faut 40 minutes pour que cet écoulement ait lieu.

L'injection est terminée. Il ne reste plus qu'à ouvrir la porte de fermeture du cylindre pour en sortir les chariots chargés des pièces injectées.

La durée totale de l'opération est donc de 101 minutes, qui, jointes à 19 minutes environ qu'il faut pour introduire les chariots déjà tout chargés dans le cylindre et pour les en sortir, font 120 minutes ou 2 heures. En comptant donc six injections en 12 heures de travail, on aura, à 120 traverses par fois, 720 traverses par jour.

Il est presque inutile de faire observer qu'avec l'appareil de MM. Legé et Fleury, les opérations qu'on peut exécuter sur le bois sont indépendantes les unes des autres. Ainsi, on peut très-bien faire l'injection par simple pression sans vide, en ne se servant que de la pompe foulante et aspirante p', tant pour charger le cylindre de liquide que pour faire éprouver à celui-ci le degré de refoulement voulu dans l'appareil.

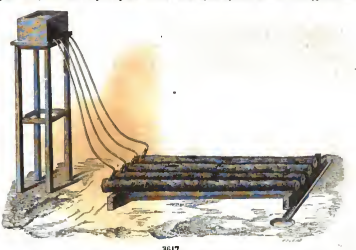
Le système d'injection des bois par la pression et le vide n'avait guère été appliqué dans l'industrie qu'à la créosote jusqu'à MM. Legé et Fleury-Pironnet. L'injection au sulfate de cuivre s'obtenait par le procédé de M. Boucherie, qui cependant diffère essentiellement.

Procédé Boucherie. — M. le docteur Boucherie, à peu près à la même époque où M. Bréant faisait ses recherches sur l'injection du bois à vase clos, tentait une autre voie pour résoudre le problème. Frappé du mouvement ascensionnel de la sève dans les arbres, il pensa qu'il pourrait aussi les imbiber de dissolutions salines par l'intermédiaire de cette force naturelle. Il commença donc par exécuter, au moyen d'une forte scie, une section partielle au tronc de l'arbre soumis à l'essai et qui restait sur pied. Il couvrait la circonférence de cette section par une toile imperméable, et, au moyen d'un tube, il faisait pénétrer dans la section même le liquide injectant. Ce liquide suivait en effet le mouvement de la sève, s'élevait dans le tronc de l'arbre et passait de là dans les branches et les rameaux, pour injecter toutes les parties de l'arbre qui correspondaient à la surface coupée.

Mais, à l'usage, ce procédé, tout ingénieux qu'il était, ne fut pas trouvé assez industriel. Peut-être même que l'excès de sève retenue par l'arbre nuisait, sous le rapport de la conservation des bois, à l'excellence de l'opération.

On fut amené à modifier le système. On abattit l'arbre, et, après l'avoir dépouillé de ses branches inutiles, on le coucha à terre en le tenant un peu incliné. On plaça une calotte, qui formait récipient sur la surface de la section de coupe (fig. 3617). Un tube fut mis en communication de ce récipient avec les cuves de la dissolution saline, auxquelles on donna une élévation plus ou moins grande au-dessus du niveau de l'arbre, de manière que le liquide exerçât une certaine pression sur les conduits capillaires du tissu ligneux.

La sève chassée par le liquide injectant et une partie du liquide injectant lui-même s'échappaient bientôt à l'autre extrémité de l'arbre et s'écoulaient dans un bassin de réception.



3617.

Aujourd'hui, on a encore simplifié le système, surtout pour l'injection des billes destinées à devenir des traverses de chemins de fer.

On laisse aux billes (fig. 3618) le double de la longueur voulue pour les traverses, et tout juste sur leur milieu on fait avec une scie une section perpendiculaire à la longueur, comme si on voulait couper chaque bille en deux parties égales; mais on s'arrête à une profondeur suffisante pour que les deux parties ne se détachent pas l'une de l'autre. On introduit ensuite dans le vide de la section, et à la manière des calfats, un bourrelet en corde pour fermer la circonférence de cette section.

On place alors, dans une position à peu près horizontale, la pièce de bois ainsi traitée en la faisant poser sur ses deux extrémités, le point d'attache de la section en

bas, de sorte que les deux parois de cette section tendent à se rapprocher et pincent fortement, comme entre les deux mâchoires d'un étau, la corde qui en forme la circonférence; ce qui rend parfaitement étanche l'intérieur de la section.

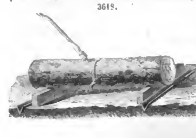
De plus, on perce avec une tarière dans une des deux parties de chaque bille et vers le sommet, mais à 6 centimètres environ de distance de la section, un trou incliné qui va rejoindre à son centre l'intérieur de cette section.

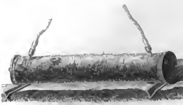
On introduit dans ce trou un bec de tube, qui reçoit lui-même le tuyau de caoutchouc par lequel le liquide injectant, le sulfate de cuivre, doit arriver.

Ce liquide est placé dans des cuves à 10 ou 15 mètres au-dessus du sol.

A peine la communication est-elle établie entre les cuves et la section que la filtration commence à la fois dans les deux côtés de la bille, et qu'au bout de quelques minutes, surtout si le bois est fraîchement coupé

3618.





3619.

et d'un tissu lâche, on voit sur les deux faces suinter la sève que chasse le liquide filtrant, puis le liquide lui-même. On laisse cette filtration se faire pendant deux jours de suite.

Le bois retient une partie du sulfate dissous, car la liqueur qui sort des billes, après l'expulsion de la sève, perd bientôt de son degré de saturation. On regarde l'injection comme terminée quand la dissolution s'échappe de nouveau au même titre que celui des cuves.

Quant aux pièces qui ne peuvent pas être injectées au moyen d'une section, comme les billes pour traverses, on y arrive au moyen d'un plateau de bois qu'on visse sur la surface de base des pièces à injecter, et qui presse entre lui et cette surface la corde de fermeture.

Alors rien ne s'oppose plus à l'opération d'injection, en mettant en communication avec les cuves, au moyen du bec de tube et du tuyau de caoutchouc, le petit intervalle laissé entre le plateau et la surface de base de la plante.

Nous avons vu que dans le système Legé et Fleury, grâce à leur appareil de 12 mètres, on pouvait injecter 170 traverses par jour. Avec le procédé Boucherie, et moyennant un chantier de 50 billes, ce qui est le nombre ordinaire, on injecte 200 traverses en deux jours, soient 100 traverses par jour.

Avec le système de filtration Boucherie, on ne peut opérer que sur les bois en grume, nouvellement coupés.

Avec le système Legé et Fleury-Pironnet, on opère tout aussi bien sur les bois équarris et d'un âge de coupe plus ou moins avancé. Toutefois, il semblerait résulter des expériences faites par ces deux inventeurs que l'époque où les bois paraissent le mieux disposés à recevoir l'injection serait trois mois après leur abatage. La sève fraîche des plantes semble donc nuire à l'injection. Nous pensons qu'en faisant un lavage à l'eau chaude et distillée et que même en prolongeant seulement la durée du passage de la vapeur dans l'appareil d'injection, on remédierait à cet inconvénient.

Tandis que la sève qui a subi un commencement de dessiccation dans les pièces coupées depuis longtemps n'oppose, après l'action de la vapeur, de la dilatation et du vide, aucune résistance à l'injection dans l'appareil Legé et Fleury, elle nuirait au contraire à l'opération dans le procédé Boucherie, si, au moment de mettre les pièces en œuvre, on n'avait soin de scier à nouveau leurs extrémités, afin d'en détacher les parties où la coagulation des matières albumineuses se trouve antérieurement plus avancée. On est donc obligé de donner aux billes qu'on veut injecter par la méthode de M. Boucherie une longueur plus grande qu'elles ne doivent réellement avoir.

Les essences qui s'injectent le mieux par le système de l'infiltration sont le hêtre, le charme, le bouleau, le platane, l'orme, le pin sylvestre et le pin maritime; mais le chêne se refuse à l'injection, non-seulement dans son cœur, mais souvent même dans l'aubier.

Toutefois, comme le chêne présente déjà par lui-même une puissance de durée suffisante, la question d'injection n'est pas aussi importante à son égard que pour les espèces repoussées d'un grand nombre de services, à cause de leur peu de résistance naturelle.

L'injection semble être plus uniforme avec le système de MM. Legé et Fleury, et plus profonde qu'avec le procédé Boucherie. Voici le tableau des moyennes de sel de cuivre absorbé par mètre cube de diverses essences, que nous extrayons d'un rapport de M. Versigné, ingénieur de la marine.

	Quantité absorbée.	Observations.
Chêne sec	2k,834	Le cœur n'a pas été pénétré.
Chêne frais. . . .	0 ,643	Le cœur intact, et l'aubier à peine pénétré.
Orme sec . , . .	9 ,484	Pénétration d'une uniformité suffisante.
Orme frais. . . .	1 ,816	dito dito.
Hêtre sec	8 ,489	Pénétration complète.
Hêtre frais. . . .	3 ,794	
Peuplier sec . . .	8 ,030	Pénétration parfaite.
Peuplier frais. . .	1 ,357	
Frêne sec	2 ,347	Comme le chêne.
Acacia sec. . . .	1 ,044	Résiste à l'injection.
Charme sec . . .	1 ,709	Comme le hêtre.
Bouleau sec . . .	1 ,007	Variable dans le résultat.
Pin sylvestre sec.	11 ,474	L'aubier seul est pénétré.
Pin maritime. . .	1 ,297	dito dito.
Pin du Nord sec. .	2 ,207	dito dito.
Châtaignier frais.	0 ,936	Résiste à l'injection.

Il ne faut pas attacher trop d'importance à ces chiffres, car il a été constaté par de récentes expériences que les bois injectés, placés verticalement, laissaient descendre au pied la majeure partie de la substance conservatrice.

Après avoir décrit les deux moyens d'injection qui semblent prédominer aujourd'hui, il nous reste à dire quelques mots sur les systèmes mixtes, dont on a trop méconnu l'importance, selon nous.

Nous avons vu, par l'expérience du baron Champy, que la pénétration de l'huile dans le bois avait été profonde par simple immersion.

Il est évident que la pénétration plus ou moins facile du bois dépend non-seulement de la nature de son tissu ligneux, mais encore des qualités du liquide injectant : ainsi l'infiltration du sulfate de fer est plus rapide que celle du sulfate de cuivre ; les acides s'injectent plus aisément que les sels ; la soude et la potasse sont facilement absorbées.

Si donc le procédé d'infiltration, d'une part, et celui d'injection par la pression à vase clos, de l'autre, peuvent être nécessaires pour certaines substances et pour certaines qualités de bois, il n'en est pas de même pour d'autres, pour lesquelles on peut employer d'autres moyens.

D'ailleurs on arrive très-bien à injecter au sulfate de cuivre le hêtre, par exemple, si, en plaçant les pièces debout dans le bain et la tête dehors, on ajoute l'action de la chaleur à la pression du liquide, qui, à part même le secours de l'absorption capillaire du tissu ligneux, tend à prendre son niveau dans les conduits verticaux des sujets soumis à l'expérience.

Quelques personnes ont ajouté à l'injection par infiltration le vide à l'extrémité opposée à celle par laquelle le liquide est introduit dans une plante, que ce vide fût fait à l'abri d'une ligature imperméable et bien étanche, au moyen d'une pompe aspirante, ou plus simplement par la combustion de matières légères et flambantes en vase clos. Pendant la combustion, on laisse ouvert un robinet, que l'on ferme dès que l'air du récipient est raréfié.

Mais ce dernier procédé, excellent d'ailleurs, exige qu'on opère sur chaque pièce séparément, et demande, par conséquent, un grand nombre d'appareils simultanés, et beaucoup de bras ou beaucoup de temps.

Pour opérer l'injection des bois par double décomposition, dont nous avons exposé les avantages au début de cet article, il n'est pas de système préférable à celui de l'immersion mixte, pratiquée d'après les règles que nous allons indiquer, et qui constitue avec les substances qu'on y emploie un procédé tout nouveau, proposé par nous.

On a une première cuve en tôle, plaquée de plomb à l'intérieur, pour recevoir un bain contenant 1 pour 100 d'acide sulfurique, auquel on ajoute 1/2 pour 100 d'un agent variable suivant les qualités spéciales que l'on veut donner au bois, et pris dans la série des sulfates et des aluns.

Cette cuve est munie à sa partie inférieure d'un fourneau, accompagné de sa cheminée verticale comme une locomotive. Le tout, d'ailleurs, peut être monté sur des roues et former chariot.

Une autre cuve de même modèle, mais de simple tôle, est destinée à recevoir un bain de chlorure de barium.

La grandeur de ces appareils est variable. Toutefois, on peut en fixer la hauteur intérieure à la longueur d'une traverse, 2^{m},60 ; la largeur, à 1^{m},60, et la longueur, à 5,30.

On place les traverses à injecter debout, dans des paniers quadrangulaires en fort treillis de fer, et qui sont faits de manière à s'adapter au vide de la cuve. La hauteur de ces paniers est égale à celle de la caisse ; ils sont larges à peu près comme elle, 1^{m},55, et pour l'autre dimension ils ont 1^{m},25.

On les enlève au moyen d'un truck suspendu pour les plonger, l'un à la suite de l'autre, dans le bain d'acide sulfurique, dont le niveau, d'abord peu élevé, se déplace par suite de cette immersion. Des barres d'arrêt, mises transversalement dans l'intérieur de la cuve, à 10 centimètres environ au-dessus du fond, empêchent les paniers de descendre plus bas.

Le bain est déjà chaud au moment de l'immersion. On peut ensuite pousser la température jusqu'à 100°.

On maintient d'ailleurs la hauteur du bain dans la cuve jusqu'au bord, en y faisant arriver la dose convenable de nouvelle dissolution à mesure que le niveau baisse par suite de l'absorption du liquide de la part des traverses.

Il faut peu de temps pour que cette première injection ait lieu. Aussitôt qu'on reconnaît sur les têtes des traverses qui surmontent le bain que le liquide injectant y est parvenu, on retire les paniers, nous allions dire les quatre paniers, pour les immerger dans la seconde cuve, placée latéralement à côté de la première, et qui contient la dissolution de chlorure de barium.

L'immersion dans cette seconde cuve peut avoir lieu de deux manières : avec les pièces mises toujours debout, comme dans la première opération, ou avec les pièces couchées et noyées dans le liquide.

Si on place les pièces debout, comme il est important que la pression du nouveau liquide dans les tubes capillaires du bois ne chasse pas le premier liquide sans réagir sur lui, il faut qu'au moment de l'immersion le bain de chlorure ait son niveau très-bas et à la hauteur, tout au plus, des barres transversales. Puis, on ne le remplit que lentement pour le faire monter jusqu'au bord du bassin.

Si on préfère coucher et noyer les traverses dans le bain, on commence par renverser les paniers sur un pont établi à cet effet entre les deux cuves ; on les saisit ensuite avec les crochets du treuil du truck par des anneaux disposés dans ce but sur les milieux latéraux des paniers, et l'on descend ensuite ceux-ci dans la cuve au chlorure de barium, où on les laisse séjourner le temps voulu, en maintenant le bain à une température de 60 à 100°.

S'il faut trois heures pour faire la première injection à l'acide, il en faut bien six pour la seconde au chlorure.

Chaque cuvée, avec les dimensions données ci-dessus aux récipients, pouvant représenter un mouvement de 100 traverses à la fois, nous aurions donc 200 traverses d'injectées en douze heures de temps, plus, une nouvelle cuvée en train, qui, dans la succession des opérations, peut être évaluée, pour la vérité des appréciations, à 50 traverses au moins ; ce qui donne, en tout, 250 traverses pour douze heures de travail.

D'ailleurs, les divers procédés d'injection en usage peuvent s'appliquer au système de double décomposition.

On peut infiltrer l'acide sulfurique par le procédé Boucherie, comme on peut se servir, pour l'introduction de cette substance dans le bois, des appareils de MM. Legé et Fleury. Seulement, dans l'un et dans l'autre cas, on doit faire éprouver une modification à la seconde opération de la double décomposition, c'est-à-dire à l'injection du chlorure de barium. On doit se contenter, pour cette dernière, de l'immersion avec ou sans pression. Nous avons déjà vu que l'on peut supprimer à volonté dans l'appareil Legé et Fleury l'opération du vide, pour obtenir l'injection par immersion avec pression.

Un moyen très-simple pour effectuer la double décomposition, et qui est emprunté au système d'infiltration, consiste à injecter d'abord l'acide sulfurique par le procédé Boucherie, comme nous venons de le dire, en faisant usage du plateau de fermeture sur l'une des extrémités de la pièce. On laisse couler par l'autre extrémité le liquide séreux que l'injection chasse, et, quand l'acide commence à apparaître seul, on couvre cette autre extrémité par un second plateau de ferme-

ture (fig. 3619), et l'on fait arriver le chlorure de barium dans ce nouvel appareil, en tenant le niveau du réservoir de cet agent un peu plus élevé que celui de l'acide sulfurique.

Le rôle d'un diaphragme placé entre deux liquides de nature diverse, et qui finissent par se mélanger à travers ce diaphragme, vient ici à la pensée pour expliquer comment les deux liqueurs injectantes doivent se rencontrer en traversant les pièces soumises à l'injection.

Aussitôt qu'on aperçoit les deux extrémités de ces pièces blanchir sous l'effet de la rencontre des deux dissolutions, on peut considérer l'opération comme terminée.

On pourrait peut-être penser que la formation du sulfate de baryte dans le tissu du bois déterminerait une obstruction à l'entrée des liquides injectants, et que, par conséquent, l'opération ne fût que partielle ; mais il n'en est pas ainsi. Outre que le dépôt n'est pas gélatineux, il a lieu au moyen de liquides d'un degré de saturation si faible que la double décomposition atteint dans toute leur longueur les pièces soumises à l'injection.

Il ne nous reste plus, pour compléter cet article, qu'à donner les prix de revient d'injection par les différents systèmes.

Prix de revient du procédé Boucherie.

Main-d'œuvre pour mise en préparation. . .	4 fr.
Sulfate de cuivre, y compris la perte, 6 kilog., dont le prix varie, mais dont la moyenne est de 100 fr.	6
Construction et entretien du chantier. — Amortissement en dix ans à 5 p. 100 de la valeur du chantier. — Location de terrain. . . .	1 50
Frais généraux.	1
Prix de revient d'injection pour 1 mètre cube de bois	12 50

Procédé de MM. Legé et Fleury-Pironnet.

12 hommes à la charge et à la décharge injectant 700 traverses, à 2 fr. 50 l'un.	30 fr.
Un chauffeur.	5
Un conducteur de chantier.	6
Chauffage de la machine.	20
Entretien et graissage.	5
Sulfate de cuivre, 385 k. à 100 fr., à raison de 5 k. 5 par mètre cube.	385
Amortissement en dix ans à 5 p. 100 d'une somme de 64,000 fr. représentant la valeur des appareils. Par jour de travail, à raison de 300 jours par an.	27 50
	478 50

700 traverses représentent 70 mètres cubes de bois environ, le prix de revient par mètre cube se réduit par conséquent à 6 fr. 93 environ, soit 7 fr.

L'injection à la créosote revient, dit-on, à 15 fr. Nous croyons ce prix exagéré.

Procédé de double décomposition par l'acide sulfurique et le chlorure de barium.

5 manœuvres à 2 fr. 50 pour 250 traverses. .					17 50
Un conducteur de chantier à 5 fr.					5
Chauffage des bains à la tourbe, à 3 fr. l'un.					9
Entretien et graissage.					2
Acide sulfurique,	65 k.	50	à 25 f.	16 375	
Chlorure de barium,	34	50	15	5 175	
Agent intermédiaire,	37	50	30	10 250	
				31 800	31 80
Amortissement en dix années à 10 p. 100 par an du matériel de la valeur de 20,000 fr. sur 200 jours de travail seulement.					10
					75 30

Ce qui met à un peu plus de 3 fr. le prix de revient d'injection par mètre cube de notre système.

Cte A. d'Adhémar.

INSALUBRES (établissements et opérations). Les établissements industriels gênent presque toujours leur voisinage, dans des limites plus ou moins grandes, par leurs émanations ou leur fumée. Pendant longtemps aucune mesure générale n'a été prise à leur égard; on statuait en raison des plaintes et du mal causé; une ordonnance du préfet de police du 12 février 1806 défendit d'établir dans Paris aucun atelier, aucune manufacture ou laboratoire qui pourraient compromettre la santé publique ou causer un incendie, sans avoir déclaré à la préfecture de police la nature des matières à employer et du travail à faire.

Des visites de lieux et des enquêtes *de commodo et incommodo* devaient suivre ces déclarations.

Ces utiles prescriptions n'ayant pas été observées, le ministre de l'intérieur consulta l'Institut sur les mesures dont l'industrie manufacturière pouvait être l'objet dans l'intérêt de la salubrité publique.

Le rapport de Guyton de Morveau, de Chaptal et de Cuvier servit de base au décret du 15 octobre 1810 et à l'ordonnance du 14 janvier 1815.

D'après cette législation, les établissements insalubres ou incommodes sont divisés en trois classes, en commençant par ceux dont l'insalubrité est la plus grave; une autorisation préalable, accordée sur l'avis du conseil de salubrité, et des formalités déterminées sont prescrites.

Les établissements de *première classe* (voy. établissements insalubres) sont ceux qui doivent être éloignés des habitations particulières; ils peuvent cependant s'établir dans l'enceinte des villes, mais dans de certaines positions et à de certaines conditions dont l'administration est juge.

La demande d'autorisation est adressée au préfet du département et à Paris au préfet de police, avec deux plans, celui du terrain choisi par rapport aux propriétés voisines, et celui de la distribution intérieure de l'usine. La demande est affichée un mois dans toutes les communes dans un rayon de 5 kilomètres, où des enquêtes *de commodo et incommodo* sont faites par les maires. Le maire de la commune où doit se faire l'établissement doit visiter lui-même les voisins et recevoir leurs déclarations sur la question. Les pièces sont transmises au préfet, qui les soumet au conseil de salubrité ou de préfecture s'il y a lieu, et qui envoie le tout au ministre avec son avis motivé.

L'avis du conseil d'État est demandé, et le chef de l'État prend un arrêté qui autorise ou qui refuse.

Le préfet est chargé de l'exécution.

Les établissements de *seconde classe* sont ceux dont l'éloignement des habitations n'est pas rigoureusement exigé, mais dont le travail doit être assez perfectionné pour ne pas nuire aux voisins.

Les autorisations sont ici accordées par les préfets, sur l'avis des conseils de salubrité.

Les établissements de *troisième classe* sont ceux qui peuvent fonctionner sans inconvénient près des habitations, sous la surveillance de la police; l'autorisation est accordée dans les sous-préfectures par les sous-préfets, par les préfets dans les arrondissements de leurs chefs-lieux, et par le préfet de police à Paris.

Ces dispositions n'ont aucun effet rétroactif, tant que les établissements formés avant le décret de 1810 ne changent pas d'emplacement et ne modifient rien à leurs conditions d'installation; ils ne sont soumis à aucune mesure, même après vente.

Les établissements non classés peuvent être suspendus provisoirement par le préfet.

L'ordonnance du 22 mai 1843, sur les appareils à

vapeur, les met tous dans la *deuxième classe*, quelle que soit leur pression.

Dans le travail qui suit, nous avons usé presque partout des cartons et des travaux de Darcet notre oncle, qui a tant fait, pendant toute sa vie, pour les questions de salubrité, en y joignant tout ce qu'une longue expérience nous a appris personnellement. Nous avons aussi puisé souvent dans l'excellent *Dictionnaire d'hygiène* du docteur Tardieu.

Dans les articles CHAUFFAGE et VENTILATION de ce dictionnaire, on trouvera d'ailleurs toutes les questions relatives à l'assainissement des ateliers par la ventilation, et ce qui regarde les chaudières à vapeur et leur législation, dans le *Guide du chauffeur* (4e édition[1]).

Nous avons, de plus, suivi l'ordre des trois classes du décret de 1810, complété comme il l'est aujourd'hui pour les industries insalubres ou incommodes, de l'assainissement desquelles nous avons parlé, et dans chaque classe nous avons adopté l'ordre alphabétique, comme le décret. Toutes les industries dont nous avons traité sont indiquées dans la table qui suit cet article.

On verra facilement par ce qui suit que les moyens de détruire l'insalubrité se rapportent en général aux trois méthodes suivantes :

1° Ventilation, moyen par excellence, toujours suffisant pour les ouvriers employés aux opérations insalubres, pour les industriels et souvent pour le voisinage, lorsque les gaz et les poussières peu délétères sont mélangés avec de grandes masses d'air et versés dans l'atmosphère à une grande hauteur.

2° Décomposition des gaz par la chaleur et la combustion.

3° Actions chimiques de corps convenablement choisis, détruisant ou transformant en produits utiles les substances insalubres.

N° 1. DES RAPPORTS DE DISTANCE QU'IL EST UTILE DE MAINTENIR ENTRE LES FABRIQUES INSALUBRES ET LES HABITATIONS QUI LES ENTOURENT.

Si tous les vents soufflaient pendant des temps égaux, il est évident qu'il faudrait placer chaque fabrique à émanations insalubres au centre d'un cercle dont la circonférence servirait de limite aux habitations du voisinage, et auquel il faudrait donner un rayon d'autant plus grand que les émanations de la fabrique seraient plus intenses, plus nuisibles : c'est d'après ce principe qu'à l'origine du développement de notre industrie manufacturière, l'administration voulut déterminer l'emplacement que devait occuper chaque fabrique insalubre ou incommode; mais on s'aperçut promptement qu'agir ainsi était une erreur, et on laissa depuis au libre arbitre des conseils de salubrité, ou, à défaut, à MM. les architectes-voyers, le soin de fixer la distance des habitations environnantes, à laquelle une fabrique peut être légalement établie.

Le Code forestier (art. 151) exige que les fours à chaux soient soumis à une autorisation quand on veut les construire à moins de 1 kilomètre des forêts. Il en est de même pour l'établissement des tuileries, des briqueteries et des dépôts de boues et d'immondices.

Membre du conseil de salubrité du département de la Seine, Darcet y rencontra beaucoup de difficultés pour accorder, dans chaque cas particulier, les intérêts de la propriété avec ceux de l'industrie. Il a donc pensé à former le tableau de l'influence des vents, qui fait le sujet de la présente note. Cette figure lui a été très-utile ; aussi avons-nous pour but, en la publiant avec les explications nécessaires, d'en bien faire comprendre la disposition et l'usage, et d'engager chacun des nombreux conseils de salubrité qui existent maintenant, tant en France qu'à l'étranger, à composer une figure analogue pour leur localité, et à s'en servir pour donner à leurs rapports la rectitude qui, entraînant la conviction, peut seule faire taire l'intérêt particulier, froissé par suite de son opposition avec l'intérêt public.

Ayant à représenter graphiquement la sphère d'action des principaux vents autour d'une fabrique insalubre, et manquant d'observations directes et de données positives à ce sujet, Darcet a pris, pour mesure de sa *nuisance*, les nombres indiquant combien de jours par an chacun des principaux vents passe sur cette fabrique, avant d'arriver aux habitations du voisinage.

La figure ici donnée a été construite d'après le relevé des observations météorologiques faites à l'Observatoire de Paris, depuis le 1er juillet 1835 jusqu'au 1er juillet 1843, c'est-à-dire chaque jour, pendant huit années consécutives. Voici le tableau de ces observations :

Termes moyens des observations météorologiques faites pendant huit années consécutives.

(Les nombres composant la seconde colonne de ce tableau indiquent combien de jours chacun des vents a soufflé par année.)

Désignation des principaux vents.	Nombres de jours par année moyenne et pour chaque vent.
Nord	20
Nord-nord-est	14
Nord-est	34
Est nord est	17
Est	15
Est-sud-est	10
Sud-est	17
Sud-sud-est	15
Sud	31
Sud-sud-ouest	26
Sud-ouest	11
Ouest-sud-ouest	32
Ouest	37
Ouest-nord-ouest	22
Nord-ouest	25
Nord-nord-ouest	13

Les observations météorologiques dont il s'agit ont été faites, chaque jour, à l'heure de midi, circonstance tout à fait favorable à l'usage que l'on doit en faire, puisque le voisinage n'a pas à souffrir des fabriques insalubres pendant la nuit, et que l'on peut, sans grande erreur, considérer les observations faites à midi comme donnant la direction moyenne des vents pendant les autres heures de la journée.

Observations. — Il y a eu, pendant les 8 années, 5 jours de calme.

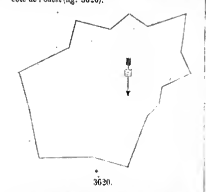
Un vent, ne se chargeant des émanations d'une fabrique insalubre qu'en passant sur elle, et ne nuisant au voisinage que du côté de la fabrique opposé à celui d'où il vient, Darcet a porté les nombres relatifs à chaque vent, non du côté d'où ils soufflent, mais bien du côté opposé où ils arrivent après avoir passé sur la fabrique, et s'y être chargés d'émanations insalubres : c'est ainsi qu'ont été tracés les seize rayons dont les extrémités extérieures ont déterminé le contour du polygone qui, pour le département de la Seine, donne la surface spéciale exposée à l'influence nuisible d'une fabrique insalubre.

Ce qui suit fera mieux comprendre la question. Représentons une fabrique insalubre par le massif ombré (fig. 3620), et supposons cette fabrique orientée comme l'indique la flèche qui est sa méridienne.

En plaçant la figure le nord en haut, et en comparant les cotes du tableau imprimé ci-dessus avec celles du polygone, on remarquera que le vent d'est, par exemple, qui ne souffle, terme moyen de 8 années, que 15 jours par an, ne commençant à nuire qu'après avoir

[1] *Guide du Chauffeur*, par Grouvelle, chez Lacroix et Baudry (librairie scientifique et industrielle).

passé sur la fabrique, a sa sphère de *nuisance* au delà de la fabrique du côté de l'ouest, et c'est ce qui a été indiqué dans la figure en y plaçant la cote de ce vent d'est, non du côté d'où il souffle, mais bien du côté de l'ouest (fig. 3620).



3620.

C'est en inversant ainsi toutes les cotes du tableau qu'a été construite cette figure, qui, en résumé, fait voir que le vent du nord nuit au voisinage de la fabrique 20 jours par an, tandis que le vent du sud lui nuit annuellement pendant 31 jours; que les inconvénients occasionnés par le vent est-sud-est ne se font sentir du côté de l'ouest-nord-ouest que pendant 10 jours chaque année, tandis que les habitations qui sont au nord-est de la fabrique ont à souffrir de ses émanations pendant 41 jours par an, sous l'influence du vent du sud-ouest, qui, comme l'indique la figure, est le vent régnant pour le département de la Seine; il n'est pas nécessaire de prolonger davantage cette explication, pour faire comprendre le système de construction de cette figure.

Lorsqu'il s'agit d'établir une fabrique insalubre, incommode ou désagréable, on doit commencer par l'orienter dans le centre de cette localité, au moyen d'une boussole; on pose sur le terrain le polygone (fig. 3620), et on place la boussole sur cette figure en l'y centrant, et de manière à faire coïncider, ou à rendre parallèles les méridiennes de la boussole et du plan; on n'a plus alors qu'à examiner : 1° la disposition générale du terrain et des habitations du voisinage; 2° si la distance de la fabrique aux maisons les plus voisines, du côté opposé aux vents de l'ouest et du sud-ouest, qui sont pour nous les vents régnants, est assez grande, pour que ce côté du voisinage ne puisse pas avoir à souffrir des émanations de la fabrique projetée; 3° s'il est possible de faire construire la fabrique demandée sur le terrain choisi, de telle manière qu'en se trouvant placée sur ce terrain, comme le massif l'est sur la figure 3620, les habitations qui l'entourent soient réparties autour d'elle, comme le sont les angles et les côtés du polygone autour du centre de cette figure.

On conçoit qu'en joignant les données générales ainsi acquises aux autres renseignements puisés sur les lieux, aux niveaux relatifs à la fréquence des pluies qui condensent certains gaz acides, etc., enfin à ceux qui résultent de l'étude des pièces du dossier de chaque affaire, on peut prononcer avec sécurité et conviction entière sur les demandes en érection de fabriques.

S'il était établi, pour chaque grand centre d'habitations, des figures analogues à celle que Darcet a tracée, ces figures rendant, pour ainsi dire, palpable l'influence des principaux vents sur les pays, seraient très-utiles aux agriculteurs, qui y trouveraient sans peine tout ce qu'ils peuvent avoir à désirer sous le rapport de la fréquence des vents. Les propriétaires sauraient toujours quel est le côté de leur voisinage qu'ils doivent le plus surveiller, et les architectes auraient là un moyen facile de bien placer, relativement aux habitations environnantes, les nouvelles maisons qu'ils ont à construire; quant aux conseils de salubrité et aux architectes-voyers, cette notice leur facilitera les travaux importants qui leur sont confiés.

Il est évident que la surface du polygone reconnu nécessaire pour l'établissement d'une fabrique devra être d'autant plus grande que les opérations faites dans cette fabrique seront plus insalubres, et que les émanations en seront plus fréquentes et plus expansibles; mais il est certain aussi qu'à mesure que l'on assainira les fabriques, on pourra les établir au centre de polygones de plus en plus petits, en les maintenant toujours symétriques entre eux; on arrive ainsi à ce rapprochement, c'est que la fixation des rapports de distances, rendue palpable par la figure qui fait le sujet de cette note, en posant clairement la question, pourra hâter l'assainissement de nos manufactures, et agir ainsi dans le même sens que l'a fait, depuis 1810, la grande mesure de la classification des établissements industriels.

Première Classe.

N° 2. Abattoirs et fondoirs de suif.

Les abattoirs sont des établissements publics destinés à l'abatage de tous les animaux employés dans la boucherie, la charcuterie et la préparation des nombreux produits que l'on en tire. On sent combien la réunion, dans un seul local construit exprès, de tous les travaux de ce genre est une condition nécessaire de salubrité et rend facile la surveillance de l'administration.

Un abattoir complet se compose de quatre parties principales :

1° Celles où sont renfermés les animaux,

2° L'abattoir proprement dit,

3° Les lieux où l'on prépare les viandes des animaux abattus;

4° Les lieux où l'on travaille les graisses et le suif.

Les bouveries et les porcheries doivent être spacieuses, aérées, lavées tous les jours.

Les conditions principales imposées dans tous les abattoirs de Paris et de la Seine rendront très-claires les conditions d'assainissement d'un abattoir et celles de la boucherie et de la charcuterie.

Les ordonnances de police qui règlent ces questions sont divisées en plusieurs sections.

1° Ouverture de l'abattoir et classement des bouchers par voie de tirage au sort. Chaque échaudoir recevant deux bouchers au moins.

2° Abatage des bestiaux et des porcs. Les bouchers peuvent abattre le jour et la nuit.

Pour les échaudoirs et les brûloirs, jamais on ne travaille dans les cours. Les portes doivent être toujours fermées au moment de l'abatage.

Les bœufs, vaches et taureaux, solidement attachés à des anneaux scellés dans le sol.

Les bœufs et taureaux d'espèces dangereuses seront amenés à l'abattoir, entravés ou accouplés.

Les veaux et les moutons seront saignés dans des baquets et des tinettes clos.

Les échaudoirs doivent être lavés après chaque abatage et leurs murs grattés.

Des réservoirs considérables et une large quantité d'eau seront affectés au service des abattoirs. Cent mille litres au moins par jour à chaque abattoir de Paris.

Des moyens très-faciles seront préparés pour l'écou-

lement des eaux, jamais sur le sol des rues, mais dans des égouts à grande pente et avec des cuvettes hydrauliques, pour éviter toute émanation putride. *Les issues et graisses* ne restent jamais dans les échaudoirs, et les vidanges sont enlevées tous les jours. Le sang ne devra être recueilli que dans des futailles closes, enlevées chaque jour. Le mobilier des échaudoirs fourni par les concessionnaires est tenu très-propre. Les viandes et issues trouvées corrompues sont enterrées, et celles avancées portées au Jardin des Plantes.

Les *eaux rousses* des abattoirs et des tueries particulières coulent presque partout dans les rues et le long des routes, où elles sont une grave cause d'insalubrité, parce qu'elles se décomposent rapidement.

Dans les villes qui ont des abattoirs, on s'en débarrasse en les envoyant dans les égouts, avec les précautions que nous avons indiquées.

On peut assainir les tueries et les charcuteries particulières :

1° En réunissant les eaux rousses de chaque établissement dans des vases ou des citernes étanches ;

2° En ne les coulant dans la rue, qu'après les avoir filtrées et mêlées à une matière qui en empêche la putréfaction ou à des matières qui les désinfectent, et la nuit.

FONTE DU SUIF. — Depuis l'établissement des abattoirs publics, la fonte du suif ne peut être faite que dans les ateliers de la ville. Cette industrie donnant lieu à des vapeurs très-incommodes pour les voisins, Darcet a rédigé une instruction et disposé des fourneaux qui brûlent les produits gazeux du travail des suifs et le rendent tout à fait salubre.

La graisse des animaux est renfermée dans les alvéoles des tissus cellulaires. Pour les extraire, il faut crever ces alvéoles et les séparer ensuite des membranes qui y sont mélangées.

Plusieurs procédés sont employés.

1er *Procédé*. Le plus ancien et le plus usité encore consiste à crever les sacs adipeux en élevant le suif en branches, coupé en morceaux, à la température nécessaire pour crisper les membranes, en faire sortir le suif fondu et séparer ensuite le plus de suif possible par la presse, qui laisse encore beaucoup de graisse dans les pains de cretons. La graisse surchauffée se colore en dissolvant des membranes, et ce système présente de grands dangers de feu.

2° *Procédé*. Quelquefois le suif est fondu sur de l'eau ou sur une dissolution saline. Moins de dangers ici, et du suif plus beau ; mais il faut le recuire à une température très-élevée pour en séparer l'eau qu'il retient.

3° *Procédé*. La fonte a lieu par la vapeur, soit directe, soit dans un serpentin ; une seconde fusion est encore ici nécessaire.

4° *Procédé*. Ici, le suif est fondu dans moitié de son poids d'eau, avec 2 p. 100 d'acide sulfurique à 66°. On chauffe l'eau par la vapeur. On lave et on refond le suif à 110°. 100 de suif en branches donnent ainsi 92 de suif pur.

Ce procédé est certainement le plus parfait et presque sans inconvénient comme salubrité, en faisant couler de suite les eaux acides et celles de lavage, qui se corrompent très-rapidement. Le premier procédé est le seul qui exige des dispositions spéciales de fourneaux pour être assaini, résultat que Darcet a obtenu en fondant le suif en branches dans une chaudière en cuivre, dont nous donnons le tracé. Un couvercle en tôle, tout en permettant un service facile aux ouvriers, empêche les vapeurs dégagées dans le travail de se répandre au dehors et les force à se brûler sur la grille même du fourneau.

Mégisseries. — *Suif d'os*. — *Cuisson des têtes de mouton*. — Les autorisations pour ces établissements n'ont été accordées, sur le rapport de Darcet, que sous condition :

1° Que les fourneaux de fusion soient établis d'après les principes de l'instruction qui précède ;

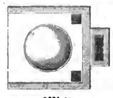
2° Que les cuves de macération des têtes de mouton soient placées sous un hangar pavé, avec pente convenable ;

3° Que les peaux, les laines et bourres ne soient lavées que dans l'établissement et non dans une rivière industrielle, ou les eaux ne doivent pas être salies de graisse, de chaux et de savon de chaux ;

4° Qu'un grand puisard absorbant reçoive les eaux qu'y conduira un ruisseau bien pavé.

Fourneau pour la fonte du suif. — Les fig. 3621 et

3621.



3621 *bis*.

3621 *bis* représentent le fourneau construit par Darcet, dans lequel les vapeurs provenant de la fonte du suif en branches passent à travers le foyer, pour le brûler avant d'arriver à la cheminée.

L'air ainsi chargé de ces vapeurs descend par deux carneaux verticaux dans le cendrier du fourneau, et comme ce cendrier est fermé par une porte, les vapeurs et les gaz dont l'air est chargé sont brûlés sur le foyer avant de se rendre dans la cheminée de l'usine.

La chaudière de cuivre est fermée par un couvercle en tôle, porté sur des tasseaux en brique et muni d'une porte à charnière qui s'ouvre et permet de décharger la chaudière et de travailler les matières.

Une ceinture circulaire qui entoure la chaudière à moitié de sa hauteur, et qui sépare le carneau en deux parties égales, est percée d'ouvertures de grandeurs décroissantes à partir du devant du fourneau, pour égaliser le passage de la flamme autour de la chaudière.

Les carneaux doivent avoir une section égale partout et le double de la section que présente l'entrée de l'air sur la chaudière, le couvercle étant baissé.

L'expérience a fait reconnaître l'utilité de l'interposition dans la flamme de briques creuses chauffées au rouge, pour mélanger entièrement les gaz plus ou

moins combustibles avec l'air en les échauffant par l'action des parois rougies, de manière à assurer la combustion des gaz.

Adipocire — provenant des chairs des chantiers d'équarrissage traitées par la vapeur dans des caisses de fonte. Cette fabrication n'est autorisée que sur des bateaux placés en travers de la rivière.

Les débris d'animaux doivent toujours être recouverts d'eau, et aucune émanation ne peut s'échapper des matières par-dessus lesquelles coulent toujours des eaux rapides.

N° 3. Savon.

Appareil pour empêcher les savonniers de tomber dans les chaudières de cuite.

Les ouvriers savonniers sont exposés à tomber et à périr dans les chaudières de cuite, quand ils travaillent pour liquéfier ou pour marbrer le savon, travail qui se fait avec un bouloir, et pour lequel on marche sur un madrier étroit placé au-dessus de la chaudière, et rendu glissant par le savon et la vapeur que dégage la chaudière.

Darcet a fait disparaître ce danger à l'aide d'un système très-simple. L'ouvrier, pendant ce travail, porte une ceinture avec un anneau sur le derrière, comme les ceintures des pompiers; il passe dans cet anneau un crochet fixé au bout d'une corde, dont l'autre extrémité est attachée à une chape de poulie, qui court sur une pièce de bois fixée par ses deux bouts au plafond, et au-dessus du madrier qui traverse la chaudière à marbrer.

Attaché à cette poulie, qui court dans toute la largeur de la chaudière, l'ouvrier, libre de ses mains et de son corps, fait son travail avec toute sécurité, car si le pied lui glisse sur le madrier savonné, la corde l'empêche de tomber dans une chaudière de savon bouillant et d'y périr à l'instant.

N° 4. Acides sulfurique et chlorhydrique, sel ammoniac et produits chimiques.

Avant 1830, presque toutes les fabriques d'acide sulfurique perdaient une proportion considérable de l'acide produit; les chambres de plomb se dérangeaient à tout moment. Il était alors souvent très-difficile de leur assurer un travail normal, et le rendement de 100 de soufre ne dépassait pas 150 on 200 en acide; toutes les fabriques d'acide sulfurique jetaient donc, sur les terrains qui les entouraient, des masses de gaz sulfureux et nitreux, et des vapeurs d'acide sulfurique qui détruisaient tout, arbres et récoltes, à une très-grande distance.

Le procédé de M. Holker, employé pour la première fois à la fabrique de la Folie, près de Nanterre, avec sa combustion régulière de soufre et la constance de son système d'alimentation d'acide nitreux, ses chambres multiples et la marche rationnelle de la production et de la condensation de l'acide, porta cette industrie d'un seul coup à une production d'acide de 310 p. 100 de soufre, c'est-à-dire à la perfection de la théorie.

Ce système, appliqué partout de 1830 à 1840, tripla, à cube égale des chambres, la production de l'acide en Europe et en fit tant baisser les prix de vente, qu'il fallut chercher partout de grands et nouveaux emplois à une grande partie de l'acide produit; la bougie stéarique, le sulfate d'alumine, etc., concoururent, avec l'augmentation de la consommation de la soude, à remplir ce résultat.

Comme résultat hygiénique, le nouveau procédé a opéré une révolution dans cette industrie, en supprimant le travail intermittent, en rendant très-rares les dérangements des chambres de plomb, et en n'évacuant dans l'atmosphère qu'un courant léger d'acide nitreux; cependant une quantité triple d'acide fabriquée dans chaque chambre a augmenté le volume de gaz acides jetés dans l'air, et les dérangements des chambres, quoique très-rares, n'ont pas disparu entièrement.

M. Kuhlmann a annulé le dégagement d'acide sulfureux, en même temps que celui d'acide nitreux, en interposant entre les chambres de plomb et le tuyau de dégagement du gaz une série de *trente bonbonnes* reliées entre elles par de larges coudes en grès. Les dix premières bonbonnes, celles qui viennent immédiatement après la dernière chambre de plomb, contiennent un peu d'eau et ne servent que comme moyen de condensation, sans action chimique; les dix suivantes sont remplies presqu'à moitié d'une solution concentrée d'*azotate de baryte;* les dix dernières contiennent de l'eau et de la *withérite* concassée (la withérite est du carbonate de baryte naturel, qui se trouve en Écosse surtout). La deuxième série de bonbonnes sert à la condensation de tout l'acide sulfureux et d'une partie des vapeurs nitreuses. L'acide sulfureux passe à l'état de sulfate insoluble de baryte, les vapeurs nitreuses à l'état d'acide azotique qui s'ajoute à celui qui devient libre par la décomposition de l'azotate de baryte. Pour opérer la transformation de l'acide sulfureux en sulfate de baryte et celle des vapeurs nitreuses en azotate de baryte, on introduit dans la première bonbonne un faible jet de vapeur d'eau, en même temps qu'on y laisse entrer un peu d'air. Le jet de vapeur, tout en appelant l'air extérieur, favorise le tirage provoqué par la cheminée de sortie qui termine le système des chambres de plomb. Mais en même temps que la vapeur d'eau opère ce phénomène physique, l'oxygène de l'air entraîné ramène les vapeurs nitreuses à l'état d'acide azotique; une partie de cet acide transforme l'acide sulfureux en acide sulfurique qui passe à l'état de sulfate de baryte; une autre partie se dissout dans l'acide où le sulfate de baryte s'est produit, la majeure partie est entraînée par le courant gazeux et va attaquer la withérite pour se fixer à l'état d'azotate de baryte.

Ajoutons, pour faire apprécier tout le mérite de ce moyen d'absorption, que le sulfate de baryte produit en définitive, préparé ainsi chimiquement et par suite à un haut degré de finesse, a une grande valeur dans la peinture en bâtiment, pour être mêlé à la céruse et même la remplacer.

Une production utile vient donc payer les frais de l'assainissement pour ainsi dire absolu qu'a obtenu M. Kuhlmann. Aussi allons-nous voir un système analogue adopté dans ses usines pour l'absorption de l'acide chlorhydrique, le conduisant, avec ce qu'il a appelé avec grande raison, à la constitution de l'*industrie de la baryte.*

Acide chlorhydrique. — On rencontre de grandes difficultés dans la pratique à faire disparaître complétement tout dégagement d'acide chlorhydrique.

Le bas prix de cet acide, et les énormes quantités que produisent les fabriques de soude, font qu'on ne peut pas faire beaucoup de frais pour le condenser; ensuite, cette condensation est beaucoup plus difficile à opérer en grand que celle de l'acide sulfurique.

A Marseille, d'après les conseils de Péclet, on emploie de longues galeries souterraines, creusées dans la *pierre calcaire*, toujours humectées d'eau, et communiquant à une haute cheminée. Darcet a jeté longtemps, près de Paris, les vapeurs perdues d'acide chlorhydrique dans des carrières de pierre calcaire abandonnées.

Des galeries dans la craie ne pouvant pas se faire partout, voici le procédé simple et sûr que M. Kuhlmann leur a substitué.

Le système de condensation se compose d'une série de *soixante-deux bonbonnes en grès d'une capacité de 175 litres chacune*; ces bonbonnes sont à trois tubulures, dont deux grandes sur le côté et une petite au

centre; ces bonbonnes sont sur *un même plan horizontal*. Elles sont reliées entre elles à l'aide de larges tubes courbés en grès qui viennent s'adapter sur la tubulure du côté de chaque bonbonne. Une couche de mastic, qui conserve toujours ses propriétés plastiques, et formé de *goudron de houille*, de *résine*, d'*argile* et de *sable fin*, est appliquée sur les jointures, de manière à empêcher, soit la sortie du gaz qui traverse le système, soit l'introduction de l'air extérieur dans les appareils.

Les cinquante-quatre bonbonnes contiennent de l'acide de plus en plus faible, puis, à mesure qu'on s'éloigne du four, de l'eau pure, et cela à peu près à moitié de leur capacité ; elles servent à condenser la majeure partie du gaz acide et à produire l'*acide chlorhydrique marchand*.

Les six suivantes renferment également de l'eau, ainsi que de la *withérite* concassée en morceaux, qui les remplissent presqu'en entier. Celle-ci est très-rapidement attaquée par l'acide. Il se produit du chlorure de barium *fixe et soluble* dans l'eau.

Les gaz non absorbés passent par les deux dernières bonbonnes contenant de l'eau pure ; elles servent de *témoins* pour accuser la marche des appareils.

M. Stass, dans un rapport intéressant, compris dans une publication belge intitulée : *Fabriques de produits chimiques, Rapport à M. le ministre de l'intérieur par la commission d'enquête instituée par arrêté royal du 3 septembre* 1855 (excellente et consciencieuse publication à laquelle nous empruntons ces détails), apprécia ainsi, après examen attentif, le système que nous venons de décrire : Le système de bonbonnes sur un plan horizontal, combiné avec l'emploi de la withérite, irréprochable en lui-même comme moyen de condensation de l'acide chlorhydrique qui le traverse, lorsque le système est dans son état d'intégrité, laisse à désirer en ce sens qu'il exige un siphonnage, opération dans laquelle une partie de l'appareil se vide sans remplacement immédiat, et qui entraîne fatalement avec elle un dégagement d'acide chlorhydrique dans l'air.

M. Kuhlmann a cherché à transformer son système horizontal et à récolte intermittante en un autre à cascade et à récolte continue, exempt de cet inconvénient.

Le sulfate de soude étant produit partie sur une *cuvette* en plomb placée à la suite du four principal, chauffée par les gaz de la combustion, et partie dans ce four même, où le produit de la réaction de l'acide sulfurique et du sel marin est chauffé au rouge (et le gaz chlorhydrique mélangé d'un grand volume de gaz étrangers, si ce n'est dans les nouveaux fours à moufle [1]), il faut un double système de condensation. A Loos, où M. Kuhlmann a établi son premier appareil à cascade, le double système est disposé ainsi :

Il consiste dans une série de cent vingt-quatre bonbonnes divisées en deux parties, l'une mise en communication avec les gaz de la *curette*, l'autre en communication avec les gaz de la *calcine*. Voici comment chacune est disposée ; on a établi, à environ 1 mètre de l'ouverture par laquelle l'acide chlorhydrique sort du four, un massif en maçonnerie en forme d'escalier ; et afin de ménager l'espace, on l'a replié trois fois sur lui-même. On a placé sur chacun des replis seize bonbonnes de 175 litres environ. Les quarante-huit bonbonnes qui sont ainsi rangées sont reliées entre elles par des raccords bien mastiqués, de manière à forcer le gaz acide qui entre par la première bonbonne d'en bas à monter successivement au travers de toutes les bonbonnes et à sortir par le raccord de la dernière, appelé qu'il est vers un second système de condensation, par la grande cheminée. Les bonbonnes qui se trouvent ainsi placées sur cette espèce d'escalier sont mises en communication entre elles par des tubulures qu'on y a pratiquées sur les côtés, vers les deux tiers supérieurs. Dans l'intérieur d'une tubulure de chaque bonbonne se trouve soudé un tube en grès arqué, qui se dirige dans l'intérieur de la bonbonne, à peu près jusqu'au fond. Cette tubulure étant mastiquée avec celle de la première bonbonne, le liquide qui pénètre dans la seconde se déverse dans la première du moment qu'il s'est élevé à un niveau suffisant. Le liquide déversé vient du fond du second vase, et, par suite, est le plus dense qu'il est possible, puisque le tube arqué par lequel il doit s'écouler descend jusqu'au fond. La même disposition existe entre toutes les bonbonnes successives, d'où il résulte que le liquide qui pénètre dans la quarante-huitième bonbonne doit s'écouler par la première, après avoir traversé successivement la quarante-septième, la quarante-sixième... la troisième, la deuxième, la première. Comme d'ailleurs les gaz entrent par la première bonbonne et s'échappent par la dernière, on a une application bien complète de la méthode de déplacement par ce cheminement en sens inverse des gaz et du liquide de moins en moins acide, et, par suite, de plus en plus apte à les dissoudre.

On conçoit qu'en réglant convenablement l'écoulement de l'eau dans la quarante-huitième bonbonne, la première doit déverser constamment de l'acide chlorhydrique à un degré de saturation constant. On doit comprendre aussi que si l'on multipliait considérablement le nombre des bonbonnes disposées ainsi en *cascade*, on arriverait à absorber presque la totalité du gaz acide dégagé par le four, sans avoir à recourir à d'autres moyens de condensation. Mais un système de ce genre exigerait un emplacement très-considérable, serait très-coûteux et ne produirait pas, à beaucoup près, ce qu'il exigerait en frais d'installation et d'entretien. M. Kuhlmann a donc ajouté à ce système une série de douze bonbonnes, renfermant de l'eau et de la withérite, et deux bonbonnes à moitié remplies d'eau pure ; celles-ci devant servir de témoins. Les bonbonnes à la withérite et les deux témoins sont mis en communication entre eux et avec le système des bonbonnes en cascade, par des raccords ordinaires. Tout l'appareil de condensation est mis en rapport avec la cheminée d'appel, qui est chargée de déterminer le courant gazeux et la combustion dans le foyer du four.

Cet appareil est, on peut dire, parfait ; il fournit un écoulement continu d'acide, qui est reçu en vases clos. On pourrait toutefois reprocher un peu de roideur au système et la difficulté de changer une bonbonne en cas d'accident. L'emploi du caoutchouc vulcanisé, qui résiste très-bien à l'action des acides, pour mettre en rapport les tubulures latérales, fait heureusement disparaître cet inconvénient.

Nous avons cru devoir donner en détail ce système complet, qui peut être répété assez de fois pour donner telle section que l'on voudrait pour le passage de gaz non condensables, qui fonctionne dans des conditions de perfection absolue, sans grande cheminée dont l'appel répond toujours à une diffusion assez considérable au dehors de gaz nuisibles. Dans des cas où la préparation de produits barytiques serait impossible, le passage des gaz acides à travers des tours de 4 à 5 mètres de hauteur remplies de gros coke, servant à diviser l'eau qui arrive à la partie supérieure, peut être suffisant et plus simple dans la pratique. En multipliant suffisamment de semblables appareils, et avec une dissolution de chaux dans les derniers, on peut toujours faire disparaître les inconvénients qui ont été trop longtemps considérés, à tort, comme inhérents à la fabrication de la soude.

[1] La commission belge a proposé l'interdiction des fours dans lesquels les gaz du fourneau sont mélangés aux gaz acides, considérant que le grand volume des premiers rend à peu près impossible, dans la pratique, la parfaite condensation des seconds.

Noir animal, sel ammoniac. — D'après Darcet, les fabriques de noir animal et celles de sel ammoniac ne sont autorisées que sous condition.

1° De placer leurs fourneaux au centre d'une propriété de grande étendue, et de ne jamais les adosser à des maisons ou à des propriétés voisines.

2° De n'employer que des fourneaux fumivores et qui brûlent même les vapeurs produites par la distillation des os, en les faisant passer sur un foyer d'appel.

Quelques soins que l'on prenne, la fabrication du sel ammoniac est accompagnée de quelques vapeurs ammoniacales et empyreumatiques qui se font sentir assez loin, mais qui n'ont rien de dangereux pour la santé des hommes, ni pour les cultures ou les arbres.

Ces fabriques sont ordinairement éloignées des villes ainsi que des villages, et maintenues isolées.

N° 5. Assainissement des ateliers d'affinage d'or et d'argent.

L'assainissement des ateliers d'affinage, l'une des industries les plus dangereuses pour les industriels qui l'exercent, pour les ouvriers et pour les voisins, est dû tout entier à Darcet, qui a aussi rédigé des instructions officielles sur cet assainissement.

Le bel et vaste atelier de MM. Poisat, Saint-André et Ce, est le premier où ces procédés complets d'assainissement aient été appliqués, et il est impossible aux voisins de s'apercevoir qu'ils sont auprès d'un atelier où des masses énormes de matières sont affinées chaque jour.

L'affinage est l'art de traiter les matières d'or et d'argent, pour les séparer les unes des autres et des métaux auxquels elles sont mélangées. Il consiste à former un alliage dans lequel entre une certaine proportion d'argent et de cuivre, proportion la plus favorable à la complète séparation de l'or et de l'argent. Ensuite on grenaille cet alliage que l'on a fondu, en le coulant rouge dans l'eau froide, pour le diviser et le rendre très-attaquable aux acides. On place cette grenaille dans des chaudières de platine closes et munies d'un chapiteau et d'un tuyau pour la sortie des vapeurs. On y jette de l'acide sulfurique à 66°, que l'on a porté à un degré supérieur de concentration par une ébullition nouvelle. Cet acide dissout l'argent et le cuivre que l'alliage contient, et dégage de l'acide sulfureux provenant de la décomposition de l'acide sulfurique par l'argent et le cuivre, et des vapeurs chargées d'acide sulfurique. Tout l'argent et le cuivre sont dissous, et l'or que peut contenir l'alliage reste non dissous dans la chaudière, où on le traite une seconde fois par de l'acide nouveau.

Les chaudières de platine sont placées sous une hotte ventilée par la cheminée générale de l'établissement, pour que les gaz et les vapeurs dégagés en ouvrant les cornues ne s'échappent pas dans l'atelier. Puis on lave l'or à l'eau, et on le met en masses compactes en le comprimant à la presse hydraulique; on le fond enfin dans des creusets réfractaires.

L'argent est séparé de la dissolution acide par du cuivre métallique; on le lave, on le comprime à la presse hydraulique, et on la fond dans des creusets en fer forgé ou en terre réfractaire.

Ainsi les vapeurs incommodes et dangereuses que cette industrie émet, et qui nuisaient gravement aux propriétés voisines, sont de l'acide sulfureux chargé d'une grande quantité de vapeurs sulfuriques.

Le système créé par Darcet pour assainir le travail de l'affinage consiste à condenser les vapeurs acides en faisant passer les produits sortant des cornues en platine dans de gros tuyaux en plomb, entourés d'eau, et dans cinq ou six grands tambours en charpente garnis intérieurement en plomb, remplis à la partie inférieure d'eau froide, qui passe d'un tambour à l'autre, en descendant et en sens contraire des gaz produits par la distillation.

Les gaz entrent dans chaque tambour par le haut et en sortent par le bas, à l'angle opposé, de manière à contrarier les courants et à forcer les vapeurs, qui sont toujours très-lourdes, à se condenser en passant sur l'eau. Cette eau, chargée d'acide sulfurique, arrive à un degré de concentration assez fort dans les premiers tambours, et on l'emploie dans d'autres industries, comme la fabrication du sulfate de fer artificiel, le travail des peaux, etc., etc.

L'acide sulfureux provenant de la décomposition de l'acide sulfurique par les métaux dissous est ensuite absorbé par de l'hydrate de chaux placé dans une caisse mue mécaniquement sur son axe, ou dans une caisse munie de plusieurs grillages superposés recouverts tous de chaux, comme les épurateurs à gaz.

Une cheminée de 55 mètres jette très-haut dans l'atmosphère les vapeurs, les gaz et la fumée du combustible brûlé.

Dans l'atelier de MM. Poisat et Ce, il y a trois ou quatre tambours en plomb placés à la suite l'un de l'autre dans la cave qui est au-dessous de l'atelier. L'acide sulfureux, débarrassé de vapeurs acides, dans les tambours, vient se condenser sur l'hydrate de chaux; ce qui n'est pas condensé est conduit à une certaine hauteur, dans la cheminée générale de l'atelier, qui le verse à 60 mètres de hauteur dans l'atmosphère, avec la fumée des fourneaux et les vapeurs acides échappées aux chaudières de platine, pendant qu'on les remplit ou qu'on lave l'or qui y reste.

Au-dessus du fourneau des chaudières de platine est établie une hotte qui recouvre les chaudières et la table sur laquelle se fait leur charge et leur vidange, le lavage et le décantage de l'or qui y reste. Cette hotte est fermée en avant par trois tabliers mobiles en tôle, manœuvrés par des poulies et des contrepoids. Ces tabliers permettent de faire tout ce travail sans qu'aucune vapeur se répande au dehors, on rétrécissant à volonté l'ouverture antérieure de la hotte, pour en activer le tirage.

La hotte est mise en communication avec la grande cheminée par un canal souterrain qui passe sous le sol de l'atelier.

Le tirage déjà puissant d'une cheminée de 55 mètres de hauteur est encore activé par les chaudières d'évaporation du sulfate de cuivre, montées au pied de la cheminée, et qui, avec tous les foyers si nombreux de l'usine, produit jusqu'au point le plus éloigné de l'appareil d'assainissement un appel si énergique, que jamais aucune vapeur ne peut être versée dans l'atelier.

Pour manœuvrer l'appareil, on met en place les chaudières de platine avec leur charge de métal; on réunit le col du chapiteau au tuyau général de plomb. On abaisse presque entièrement les trappes en tôle, et on allume les fourneaux.

Un appel très-puissant est ainsi déterminé dans la hotte, et la dissolution des matières par l'acide a lieu sans que rien se dégage au dehors.

Quant à la décomposition du sulfate d'argent et à l'évaporation du sulfate de cuivre, pour que ces opérations se fassent sans inconvénients, il suffit de ne pas traiter ces dissolutions à une trop haute température, avant de les avoir amenées à l'état neutre, ce que l'on fait sans peine avec du carbonate ou de l'oxyde de cuivre.

L'atelier de MM. Guichard et Legendre, où Darcet neveu, créateur de l'affinage par l'acide sulfurique, réalisa avec avantage les nouveaux procédés trouvés par lui en 1802, avait donné lieu à des plaintes de la part des voisins.

J.-P. Darcet y établit un système d'appareils d'as-

saisissement complet, que les lieux le forcèrent de développer au même niveau. Il y avait là huit chaudières de platine avec leurs fourneaux.

Un cylindre en plomb de 0,30 de diamètre, avec pente de droite à gauche, servit à condenser les premières vapeurs chargées d'acide, et reçut les vapeurs et les gaz des huit chaudières.

Un entonnoir en plomb est fermé par un tampon de bois, à l'aide duquel on introduit de l'eau dans le cylindre pour laver et emporter le sulfate d'argent qu'y jette quelquefois l'acide boursouflé des chaudières.

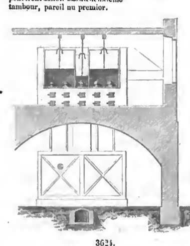
Une cloison transversale en plomb, de 7 ou 8 centimètres de hauteur, arrête, au bas du cylindre, les eaux de condensation ou de lavage, qui s'écoulent dans le réservoir par un tuyau de 0,37.

Un réservoir en plomb reçoit les condensations et les lavages du grand cylindre.

A la suite est un tambour de condensation en plomb. Les vapeurs non condensées dans le cylindre sortent du premier tambour par un tuyau en plomb, et pénètrent dans le bas du deuxième tambour, pareil au premier.

3622.

3623.



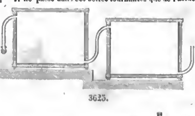
3624.

Enfin il y a deux caisses tournantes, en plomb (fig. 3626), que l'on charge d'hydrate de chaux, destiné à absorber les parties d'acide non encore condensées, et l'acide sulfureux.

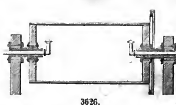
On voit que ces boîtes tournent sur des moyeux fixes, en fonte, dans lesquels passe le tuyau en plomb qui amène les vapeurs du premier tambour, et celui qui les emmène au dehors.

Des engrenages et des manivelles permettent de faire tourner les caisses, sans gêner le passage des gaz. En sortant des deux caisses mobiles, les gaz non-condensés, mais désinfectés, sont conduits dans la grande cheminée de l'usine, où un tirage très-puissant les porte au dehors et à une grande hauteur.

Il ne passe dans ces boîtes tournantes que de l'acide



3625.



3626.

sulfureux, dont l'hydrate de chaux, toujours agité, s'empare facilement, et il n'arrive dans la grande cheminée que la petite portion d'air qui a pénétré dans l'appareil, soit à travers ses joints, soit par les tubulures des chaudières, qu'on ouvre pendant le travail. En ménageant convenablement le feu sous les chaudières, et en faisant suffisamment tourner la caisse mobile, on peut facilement faire le travail dont il s'agit, sans laisser répandre aucune vapeur insalubre au dehors de l'atelier.

Il faut aussi laisser refroidir les chaudières de platine avant de les enlever de dessus leurs fourneaux, ou, si en les enlevant elles produisent encore quelques vapeurs acides, on les porte sous une petite hotte construite pour cet usage, et que l'on peut faire communiquer par un tube de plomb, soit avec la grande cheminée, soit avec les cendriers des fourneaux, en ayant soin d'en fermer exactement les portes. Quant aux chaudières de plomb dans lesquelles on décompose le sulfate d'argent, nous pensons que comme elles ne donnent que de la buée peu gênante, il suffira, ou de laisser sortir cette buée de l'atelier par un toit à claire-voie, ou, si l'on veut mieux faire, de la conduire, par des hottes convenablement disposées, dans la grande cheminée.

Dans un établissement des environs de Paris, l'auteur de cet article a organisé tout récemment un excellent système de condensation avec un long tuyau en plomb, et un grand nombre de tambours successifs de grandes dimensions.

N° 6. Engrais.

Les substances qui concourent au développement des plantes, en rendant à la terre ce que celles-ci lui enlèvent, sont ou minérales ou végétales, et surtout animales. Les premières ne donnent lieu à aucune observation pour la question de salubrité, sauf les cendres des fonderies de plomb ou de zinc, et autres cendres métalliques, qui, jetées sur des trèfles, ont empoisonné plusieurs vaches. Les autres engrais, composés de substances végétales et surtout de substances animales, ont besoin de fermenter ensemble pour atteindre leurs qualités les plus parfaites, et de rester longtemps entassés pour attendre, soit cette fermenta-

tion, soit leur emploi. (Voir *Guide de la fabrication des engrais*, par M. Rohart, pour les conditions à remplir relativement à la salubrité de la fabrication industrielle des engrais, pour l'absorption immédiate à l'aide de substances convenables, telles que le plâtre et le sulfate de fer, des gaz dégagés par la fermentation.) Les boues des villes et les fumiers des campagnes, formés de paille employée comme litière et de déjections animales, sont dans ce cas, et leurs amas sont très-insalubres et très-incommodes pour le voisinage.

Les fumiers des campagnes sont, dans presque toute la France, amassés devant les portes, dans les cours et souvent dans les rues, où ils reçoivent les pluies d'automne et du printemps, qui les lavent et emportent la plus grande partie des sels ammoniacaux et des substances solubles, les plus précieuses matières à conserver, outre leur danger pour la salubrité des maisons et des communes.

Les administrations communales et les conseils d'hygiène agissent donc en même temps dans le véritable intérêt des cultivateurs, et dans un intérêt bien entendu de salubrité municipale, en prenant tous les moyens propres à faire disparaître les fumiers des rues ou des petites cours, et à les faire entasser à l'abri des grandes pluies, là où ils ne peuvent nuire à personne par les vapeurs qu'ils dégagent.

Les dépôts des boues de Paris sont rejetés à 2,000 mètres du mur d'enceinte, disséminés sur un grand nombre de points différents, et ne peuvent pas être établis sans une autorisation. Les chevaux morts ou abattus sont aussi trop souvent abandonnés au milieu des champs, au lieu de servir d'un précieux engrais, comme ils le sont réellement.

Les parties non utilisées dans l'industrie des animaux tués dans les abattoirs publics, la chair musculaire, le sang, les poumons, sont préparés avec de la terre végétale calcinée, et forment un engrais appelé *noir animalisé*, dont on expédie de grandes masses pour les champs de cannes des colonies; on y expédie aussi beaucoup de poudrette préparée, et on amène par contre, du Pérou en France, des quantités considérables de guano, produit des déjections des oiseaux de mer, accumulés depuis bien des siècles.

Les transports de ces matières ne sont pas sans danger, surtout quand elles peuvent prendre de l'humidité, et donner lieu à une fermentation très-active, surtout avec la chaleur des tropiques. On cite des navires qui ont ainsi perdu une partie de leur équipage.

Les produits des déjections de l'homme servent, dans la Flandre et ailleurs, à arroser directement les terres. Il est difficile de croire que les odeurs qu'ils dégagent et la consommation, par les bestiaux, des plantes qui en sont couvertes, n'aient pas quelque danger.

Les chantiers d'équarrissage des chevaux sont rangés dans la première classe des établissements insalubres; cependant, il résulte d'un très-beau travail de Parent-Duchâtelet que leurs émanations infectes n'ont pas de danger pour les enfants ni pour les ouvriers qui vivent au milieu de ces chantiers.

Il est facile du reste de les organiser de manière qu'aucune partie des chevaux abattus ne soit perdue, et que les parties mêmes que nous avons désignées plus haut comme sans usage servent à faire des engrais. (Voy. ABATTOIR.)

Deuxième Classe.

N° 7. APPAREIL SALUBRE A ÉTEINDRE LE COKE DANS LES USINES A GAZ.

Tous les hommes qui ont monté ou dirigé des usines à gaz savent quelle masse de vapeur d'eau chargée d'ammoniaque, d'hydrogène sulfuré et d'autres vapeurs dangereuses se dégage d'un tas de coke embrasé, au moment où on l'arrose rapidement d'eau pour l'éteindre au sortir des cornues. Pour que le coke conserve un bel aspect métallique, il faut que cet arrosage soit rapide et qu'il atteigne toutes les parties du coke brûlant.

Dans les grandes usines, surtout dans les usines placées au milieu des villes, le travail et la masse de vapeurs que l'on produit ainsi sont dangereux pour les ouvriers de l'usine, et surtout incommodes pour tout le voisinage.

L'usine à gaz Lacarrière, à Paris, dont le travail avait pris un développement trop considérable pour les bâtiments où elle était limitée, en était venue à répandre dans les quartiers qui l'entourent des masses de vapeur infecte dont nous parlons.

Les chefs de cette grande usine demandèrent à Darcet de leur trouver et de faire construire un appareil d'extinction du coke qui satisfît à toutes les conditions de salubrité, sans nuire à la bonté du travail.

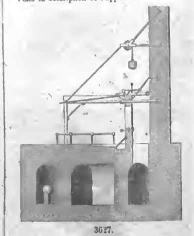
L'appareil que nous donnons ici, construit sous la direction de Darcet à l'usine de la rue de la Tour, remplit toutes ces conditions. Nous l'avons vu marcher de la manière la plus parfaite, et les administrateurs de la compagnie, qui nous en ont donné les plans, s'en félicitaient beaucoup.

Le principe est l'extinction du coke dans trois cases en brique, fermées de trois côtés, où le coke est porté sur des chariots en fer, en sortant des cornues; des trémies plates en tôle, percées de trous sont descendues ensuite sur le coke et de l'eau est jetée rapidement sur la trémie, par des tuyaux et des robinets d'un gros diamètre. Ces plateaux percés de trous répartissent très-également l'eau sur toute la surface du coke et l'éteignent rapidement, en lui conservant toutes ses qualités.

La vapeur fétide dégagée l'abandonne dans cet instant, et, mêlée à l'air de l'atelier qui arrive par le devant de la case, elle est emportée à travers de larges ouvertures, pratiquées au mur du fond des cases, et qui communiquent par-dessous terre à de vastes carneaux souterrains qui amènent la vapeur à une certaine hauteur dans la grande cheminée de l'usine (fig. 3628).

A l'usine Lacarrière, trois cases de 2 mètres de côté suffirent pour l'extinction de tout le coke produit.

Voici la description de l'appareil :



3627.

La figure 3627 est une coupe verticale par une des cases, sur le plateau percé de trous, les moufles qui le

manœuvrent, et les tuyaux et robinets à eau. On voit aussi l'ouverture réservée dans le fond de la case, et les carneaux souterrains par lesquels l'air et les vapeurs infectes sont emportés dans la cheminée.

Dans toutes ces figures, les flèches indiquent la marche des courants d'air et de vapeur.

A, A (fig. 3628) sont trois cases de 2 mètres de côté, entourées de murs en briques sur trois côtés et servant à éteindre le coke.

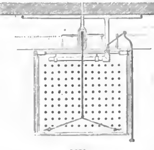
BB, ouvertures pratiquées dans le mur de face des cases, et qui emportent les vapeurs sous l'appel de la grande cheminée.

C. Carneaux souterrains par lesquels les vapeurs se rendent des cases d'extinction à la cheminée.

D. Partie de la cheminée limitée par une cloison qui monte à 40 mètres de hauteur, et qui reçoit l'air et les vapeurs d'extinction du coke, sous l'appel des fours à gaz; l'autre partie de la cheminée reçoit la fumée des fours à gaz de l'usine.

3628.

J. Trémies en tôle percée de trous (fig. 3629), servent à éteindre le coke, dans les trois cases, et manœuvrées par des contre-poids. A la partie supérieure sont les tuyaux et robinets d'eau, pour l'extinction du coke.



3629.

Cet appareil n'a jamais été publié nulle part.

N° 8. Colle animale et gélatine.

On prépare surtout ces colles avec des membranes, des peaux, des aponévroses, des tendons, des cartilages et surtout des os. La gélatine qui sert à faire les colles fortes se prépare avec des os que l'on traite par la vapeur ou au bain-marie, après les avoir fait macérer plusieurs jours dans un lait de chaux, pour en enlever la graisse.

On extrait aussi la gélatine des os en les traitant par de l'acide chlorhydrique étendu d'eau, industries qui ont été créées par Darcet.

Tous ces établissements donnent des odeurs incommodes aux voisins; tous ceux où l'on traite des *matières membraneuses*, où l'on emploie la *carnasse*, sont placés dans la première classe, tandis que ceux où l'on se sert des os pour préparer les colles font partie de la troisième classe.

Les eaux de ces fabriques sont chargées de matières animales infectes et très-faciles à putréfier, ou elles sont chargées d'acide, quand on en emploie; on doit alors les envoyer avec précaution dans un égout, en les écoulant chaque jour et en les saturant d'abord avec de la craie.

N° 9. Buanderies et lavoirs.

Ce qu'il y a de dangereux pour la santé publique dans les buanderies, ce sont les grandes masses d'eaux chargées de *substances savonneuses*; ces eaux contenant presque toujours des *sulfates*, donnent, par leur mélange avec le savon, un grand dégagement d'acide hydrosulfurique. Celui-ci porte, en effet, son infection à une grande distance; les puisards sont à tout moment bouchés par les savons calcaires, formés par les matières grasses; un facile et sûr écoulement de ces eaux est donc la première condition imposée à une buanderie. Aussi les buanderies sont de la deuxième classe, quand elles n'ont pas d'écoulement pour leurs eaux, ou qu'elles doivent les transporter au loin; elles sont de la troisième classe quand elles ont un écoulement direct.

Enfin, celles qui sont sur des bateaux, ayant le moyen le plus parfait d'évacuation des eaux, ne sont plus soumises qu'à des règlements de police locale et aux règlements de la navigation; il est toutefois défendu à Paris d'étendre le linge sur les berges; on ne peut pas non plus laver dans la Seine ailleurs que sur les bateaux. Deux procédés ont été indiqués par Darcet pour extraire les matières grasses des eaux de savon : l'un par l'acide sulfurique qui isole les acides gras, que l'on recueille; l'autre par le plâtre en poudre ou les vieux plâtras. Il se fait là une double décomposition, et il se produit du sulfate de soude.

N° 10. Fonderies de plomb.

Les foyers des fourneaux de fusion du plomb sont toujours fumivores, par suite de la haute température du plomb dans la chaudière; on peut donc brûler de la houille en nature, dans cette industrie, sauf à allumer avec du bois, jusqu'à ce que le fourneau soit bien chaud.

Le traitement des cendres de plombier ne doit se faire dans une ville qu'avec des procédés perfectionnés, qui ne laissent dégager à l'extérieur aucun produit plombifère. Des chambres et des galeries de circulation d'une dimension suffisante doivent permettre le dépôt de toutes les poussières; autrement, on devrait renvoyer hors des villes le traitement de ces cendres.

N° 11. Travail du caoutchouc pour faire des sondes, des fils et des étoffes imperméables.

Le caoutchouc destiné à ces fabrications n'est pas mis en dissolution, mais seulement ramolli, en le chauffant à vases clos, dans de l'éther contenant quelques centièmes d'huile pyrogénée de caoutchouc.

La préparation de cette liqueur se fait aussi à vases clos; le danger d'incendie est donc l'objet qu'on doit prévoir ici.

Ces fabriques sont autorisées sous condition :

1° Que le magasinage de l'*éther*, les préparations du *dissolvant*, et la conservation de ce liquide aient lieu dans un bâtiment construit *ad hoc*, avec planchers en fer, et isolé des maisons et des fabriques.

2° Que l'atelier où l'on ramollit le caoutchouc soit ventilé convenablement, ainsi que celui où l'on emploie le caoutchouc pour la fabrication des sondes, des fils et des étoffes imperméables.

Quant aux grands ateliers où l'on prépare et où l'on vulcanise le caoutchouc, ce sont des établissements

assez grands et assez isolés des constructions voisines pour ne pas être un danger d'incendie ou une source d'odeurs désagréables pour les voisins ; les ateliers de travail du caoutchouc, et les étuves où l'on chauffe à une haute température les produits préparés avec le caoutchouc, vulcanisé ou non, sont avec raison toujours isolés des murs d'enceinte, par conséquent des propriétés qui les entourent.

N° 42. Fulminate de mercure.

Cette fabrication est très dangereuse. Le conseil de salubrité de la Seine interdit le transport du fulminate hors de la fabrique où on le produit, avant qu'il ne soit converti en *amorces fulminantes*, quoique quelques fabricants affirment qu'humide, il ne peut faire explosion ni par le choc, ni par le contact d'un corps enflammé. Les fabriques doivent être aussi isolées de toute habitation. (Voy. Capsules.)

N° 43. Cuirs, toiles et cartons vernis; fanons de baleine.

Les inconvénients des premières fabriques sont des incendies fréquents et des odeurs désagréables, dont le voisinage souffre beaucoup.

Quant aux dernières : 1° les eaux de macération des *fanons*, qui se putréfient très-promptement, ne doivent pas avoir d'écoulement dans les ruisseaux de la rue, mais directement dans un égout ;

2° Des précautions doivent être prises pour jeter la buée de la chaudière de macération dans une cheminée plus haute de 3 ou 4 mètres que les toits voisins.

3° On ne doit jamais non plus brûler sous cette chaudière les résidus de la division et de la préparation des fanons.

4° Les fourneaux doivent être disposés comme ceux de la fonte de suif, pour être parfaitement fumivores.

5° Les eaux de macération doivent être entièrement désinfectées avant d'être jetées dans les égouts, ou portées à la rivière dans un tonneau clos.

Les industries principales qui travaillent la baleine, sont :

1° Les aplatisseurs : les fanons sont le plus souvent aplatis et refendus dans le travail de macération ;

2° Les fabricants de peignes ;

3° Les ateliers de cuisson de fanons de baleine ;

D'après Darcet, l'eau de macération des fanons de baleine est alcaline et contient de l'*ammoniaque*. Par le repos, il s'y fait un dépôt noir.

Le plâtre cru enlève son odeur et la clarifie en en précipitant le noir ; le *plâtre cuit* développe au contraire son odeur ; le chlorure de chaux filtré la désinfecte, mais employé à petite dose.

Cette industrie est rangée dans la troisième classe. (Ordonnance du 27 mai 1838.)

N°. 44. Galvanisation du fer.

Cette industrie, qui est encore récente, a déjà fait des progrès depuis sa création, par M. Sorel.

Il est toujours très-facile d'assainir complétement ce travail de la galvanisation, en y appliquant le système trouvé par Darcet pour les fabriques de fer-blanc, que nous donnons plus loin. Cette industrie sera un jour placée dans la troisième classe, mais comme la galvanisation est encore nouvelle et recevra évidemment des perfectionnements importants, elle a été mise d'abord dans la deuxième classe des établissements insalubres, pour lui laisser le temps de se développer et de se constituer complétement.

N° 45. Fabrication du tabac.

Des véritables influences que le tabac peut avoir sur la santé des ouvriers occupés aux différentes préparations qu'on lui fait subir. — Fourneau fumivore pour brûler les côtes de tabac.

Un travail très-complet et très-remarquable a été fait sur cette grave question, par Darcet et Parent-Duchâtelet, en voici le résumé et les conclusions :

En récapitulant tout ce que les auteurs du mémoire ont vu dans la fabrique de Paris et ce que rappellent des observations semblables, faites dans les huit autres manufactures de France, c'est-à-dire sur un nombre de 4,518 ouvriers, on voit :

1° Que dans la plupart des fabriques il est sans exemple qu'un individu ait été dans l'impossibilité de s'accoutumer aux émanations du tabac ; qu'il n'y a guère que la démolition des masses qui ait été nuisible à quelques-uns, et qu'en général ceux qui sont exposés à toutes les émanations de cette substance, pendant un, deux ou trois mois, n'en sont pas incommodés ;

2° Que si le travail du tabac laisse ceux qui le font exposés à toutes les infirmités humaines, ce qu'ils ont de commun avec les autres classes de la société, livrées à des occupations qui n'ont aucune analogie avec celle-ci, c'est à tort qu'on la regarde comme la cause d'une multitude de maux dont on trouve l'énumération dans les ouvrages de plusieurs auteurs qui ont écrit sur l'influence des professions.

Tout ce qu'on a publié sur la fréquence des nausées, des vomissements, des diarrhées, des coliques, des hémorragies chez les *râpeurs de tabac*, peut être considéré comme une pure supposition ; il en est de même des céphalalgies, des sternutations, de la perte d'appétit, de la fétidité de l'haleine, des affections aiguës et chroniques de la poitrine, des cancers et autres maladies semblables ; ce que disent les mêmes auteurs sur la décoloration de la peau des ouvriers employés au tabac, sur la teinte jaunâtre de leur facies, sur leur maigreur et leur émaciation, prouve qu'ils n'ont pas observé par eux-mêmes, ou, du moins, qu'ils n'ont vu que les exceptions à la règle générale ; ils n'ont pas non plus mis cette classe de la population en parallèle avec d'autres ouvriers de la même ville, occupés à des travaux tout différents. Les auteurs de ces remarques se sont longuement étendus sur ce point important d'hygiène publique, et ont multiplié les preuves ; la fabrique de Paris leur en a fourni beaucoup.

Nous engageons donc ceux qui seraient curieux de s'instruire par eux-mêmes à visiter les ateliers de la manufacture du Gros-Caillou, pour se procurer en peu de temps une conviction parfaite.

3° Loin de déterminer chez ceux qui le préparent la mort et le narcotisme, comme le disent quelques auteurs, et comme le croient encore beaucoup de personnes, le travail du tabac n'a aucune influence sur leur système nerveux, et les vertiges, les syncopes, les tremblements musculaires et autres maux semblables qu'on lui a reprochés n'ont jamais existé dans les manufactures, ou au moins ne peuvent pas leur être attribués.

Tout prouve donc que les accidents observés par Percy sur des soldats qui manœuvraient au Champ de Mars, et dont il attribue la cause à du tabac contenu dans leurs shakos, n'ont pas pu être déterminés par cette substance. Les faits que nous avons rapportés le démontrent jusqu'à l'évidence. Une chaleur très-intense n'est-elle pas capable, à elle seule, de produire la syncope, surtout lorsqu'on reste exposé à un soleil ardent, pendant tout le temps que durent des manœuvres longues et fatigantes? Les exemples de syncopes, et même de morts subites, arrivées en pareilles circonstances, sont trop nombreux pour que nous les rapportions.

Percy ayant visité, après l'accident, tous les shakos du régiment, trouva que la plupart contenaient du tabac à fumer et à mâcher. Pourquoi, lorsque presque tous les hommes portaient du tabac dans leurs shakos, quelques-uns seulement furent-ils indisposés? Pourquoi ces soldats, qui avaient habituellement du tabac au-dessus de leur tête, n'en ont-ils été incommodés que pendant une manœuvre? L'opinion de Percy porte donc avec elle sa réfutation.

4° Non-seulement le travail du tabac n'altère pas la santé d'une manière visible, dans les premières années consacrées à sa manipulation, mais il ne lui apporte pas même le moindre préjudice dans un âge plus avancé. S'il en était autrement, les ouvriers deviendraient impropres au travail, et il faudrait les réformer : or, il n'arrive rien de semblable.

5° Il existe des professions qui, sans nuire d'une manière évidente à la santé, abrègent cependant la vie, et empêchent tous ceux qui l'exercent de dépasser un certain âge; le travail de Darcet et de Parent-Duchâtelet, démontre que celle dont nous nous occupons n'est pas dans cette catégorie, puisqu'elle permet à un grand nombre d'ouvriers d'atteindre, et même de dépasser de beaucoup, la limite ordinaire de la vie humaine, et les fabriques de tabac peuvent être autorisées au milieu des villes.

Fourneau fumivore à brûler les côtes de tabac. — L'incinération des côtes du tabac, résidu considérable de cette fabrication, qu'il importe de faire disparaître, en utilisant sa richesse notable en sels de potasse, a été assez longtemps une des opérations les plus nuisibles pour le voisinage des fabriques de tabac. Darcet a fait disparaître ces inconvénients par l'emploi d'un fourneau rendu fumivore en faisant passer les produits de la combustion au milieu de ceux d'un second fourneau placé à la suite du premier.

Le premier fourneau fumivore, dans lequel le combustible peut brûler à flamme renversée, est suivi d'une voûte qui vient déboucher dans un second foyer à double grille, l'une supérieure, l'autre inférieure au premier conduit de fumée; les cendriers sont placés latéralement du même côté. Voici les précautions à prendre pour brûler les côtes de tabac sans incommoder le voisinage de la manufacture :

On allume du bois sec et fendu dans les trois foyers; lorsque la voûte du foyer et les passages voûtés sont portés au rouge, on peut brûler des côtes de tabac sur la grille. Pour cela, on en charge peu à peu cette grille, en ayant soin de ne placer les côtes humides que sur le devant; on pousse successivement vers le fond du foyer celles qui sont allumées, avant d'en faire une nouvelle charge, et on continue à conduire ainsi le travail, tant que l'on a des côtes à brûler, ou jusqu'à ce qu'il devienne nécessaire de nettoyer le fourneau.

On facilite la chute des côtes incinérées, ou seulement enflammées, dans le cendrier, au moyen d'un ringard qui se manœuvre par un ouvreau. Le cendrier doit être fermé par une porte en tôle; on peut y mettre, lorsqu'il est assez échauffé et qu'il contient déjà des cendres rouges, des côtes de tabac humides, qui y brûlent très-bien.

L'air nécessaire à cette double combustion pénètre dans le cendrier et dans le foyer, à travers l'ouverture, ménagée en avant du fourneau, non-seulement pour produire convenablement cet effet, mais encore pour s'opposer à l'échauffement de l'air sur le devant du fourneau, où se trouve placé l'ouvrier qui alimente le foyer de côtes de tabac. La fumée sortant du cendrier et du foyer se mêle à la quantité convenable d'air nouveau introduit par les ouvertures; le tout passe dans le carneau voûté, s'y brûle, et en sort presque sans odeur et sans fumée.

On peut se contenter, en fabrique, des résultats qui précèdent. Si cependant on voulait y brûler complétement la fumée, il faudrait allumer du bois sec et fendu sur la grille du premier fourneau fumivore; ce combustible y brûlerait à flamme renversée, comme dans les alandiers des fours à porcelaine.

La flamme se jetterait en contre-bas, se mélangerait à de l'air nouveau, entrant par les ouvertures latérales, et pénétrerait dans le carneau voûté, dont elle occuperait le haut. La fumée venant du foyer serait alors obligée de se mélanger avec cette flamme, qui contient un excès convenable d'oxygène, et de traverser avec elle le carneau voûté dans toute sa longueur, d'où elle ne sortirait qu'après y avoir été complétement brûlée.

Ce n'est donc que par excès de précaution que Darcet a fait construire le second foyer fumivore, qui agirait comme il suit, si l'on s'en servait.

La flamme du bois sec et fendu que l'on brûlerait sur la grille de ce fourneau, obéissant à l'appel de la cheminée générale, prendrait une direction horizontale, se mélangerait à de l'air nouveau entrant par les ouvreaux, occuperait la partie inférieure du carneau, et la fumée arrivant du foyer, en grande partie brûlée pendant son passage à travers le carneau rouge, serait en outre obligée de traverser le carneau dans toute sa longueur, entre deux courants horizontaux de gaz enflammés, et contenant un excès d'oxygène, ce qui en brûlerait infailliblement les moindres fuliginosités.

Ce n'est que pour indiquer la perfection à laquelle on peut arriver en ce genre que Darcet, inventeur de ce fourneau, a réuni dans le même appareil tous les moyens d'atteindre le but proposé. Néanmoins, si l'on voulait s'en servir, il a cherché à utiliser la chaleur que produirait la combustion des côtes de tabac et celle que donnerait le bois dans les deux foyers : il a donc fait établir au-dessus de la voûte et à la suite un calorifère, qui pourrait échauffer un volume d'air considérable à employer très-utilement au chauffage de la manufacture. Ajoutons enfin que l'on peut remplacer ce calorifère par une chaudière servant à faire chauffer l'eau employée pour le lessivage des cendres de tabac, ou bien à faire évaporer les lessives provenant de cette dernière opération.

Troisième Classe.

N° 16. AMPHITHÉATRES DE DISSECTION.

En admettant que les salles de dissection ne soient pas, à proprement parler, nuisibles à la santé des jeunes gens qui y passent une grande partie de leur temps, il est au moins certain que la présence de nombreux cadavres en dissection, la vue des débris qui en proviennent et l'odeur qui se dégage de ces substances animales, souvent dans un état avancé de putréfaction, rendent le séjour de ces amphithéâtres fort désagréable, surtout pour les élèves qui ont à y commencer leurs études anatomiques : il n'est donc pas sans utilité d'aviser aux moyens d'assainir les salles de dissection. C'est dans ce but rempli d'intérêt que nous proposons l'établissement des appareils dont nous allons donner la description.

Du Dépôt des cadavres et de leur conservation.

Les cadavres envoyés aux salles de dissection proviennent, presque toujours, de sujets morts récemment et ne donnent ordinairement lieu à aucune odeur désagréable, surtout si on a employé les procédés de conservation des cadavres destinés à la dissection, dus au docteur Sucquet, et qui paraissent remplir très-bien leur objet.

Les cadavres destinés à la dissection qui, à Paris, ne peut se faire que dans les amphithéâtres créés par l'administration des hôpitaux, proviennent des hôpi-

taux, et doivent être apportés, la nuit, dans des voitures couvertes.

Peu après leur arrivée, on les injecte de sulfite de soude, à raison de 4 litres environ par cadavre : les corps entiers sont injectés par la carotide; ceux qui sont ouverts, par les artères sous-clavières, iliaques et carotides. Le liquide transsudant à travers les pores des vaisseaux ne tarde pas à imbiber tous les tissus, et après quelques heures, on peut injecter au suif le système artériel des sujets destinés à l'étude de l'angéiologie. Les tissus ainsi préparés se trouvent fermes quand on les découvre, et dans l'état normal du cadavre. Les sujets disséqués s'altèrent cependant promptement au contact de l'air; tous les matins on imprègne de chlorure de zinc, avec une éponge, les préparations qui vont se putréfier, les tissus ramollis perdent à l'instant toute odeur.

Avec ce système, les cadavres se conservent de quinze à trente jours au moins; on les dissèque sans en éprouver la moindre incommodité.

Pour que le sulfite de soude à 22° de l'aréomètre n'altère pas les instruments dont on se sert, on les laisse séjourner deux jours sur du zinc, ce qui ajoute à la solution un peu de sulfite de zinc.

Ce système doit être employé partout où l'on dissèque, et là surtout où il n'y a pas d'amphithéâtre organisé par une administration.

Une excessive et constante propreté est imposée, avec raison, aux amphithéâtres de dissection par l'ordonnance de police du 25 novembre 1834, qui règle ceux de Paris.

Voici les plans et coupes d'un amphithéâtre de dissection, avec table ventilée disposée par Darcet.

De la Dissection des cadavres.

L'aérage, les lavages à l'eau et l'emploi du chlore et des chlorures d'oxydes ont été jusqu'ici les seuls moyens employés pour désinfecter les salles de dissection : mais l'on sait que ces procédés ne conduisent que très-imparfaitement au but. Darcet a proposé d'y ajouter l'emploi de la ventilation forcée, et il a fait établir sur ce plan, à la Pitié et dans le cabinet de M. Serres, médecin en chef, la table de dissection que nous allons décrire :

La table de dissection dont il a proposé l'usage peut être construite en fonte ou en bois; elle doit être creuse dans toutes ses parties; son couvercle doit être percé de trous nombreux, et il faut que son intérieur soit mis en communication avec un canal souterrain allant aboutir à une cheminée dans laquelle le tirage convenable doit être bien établi. Le service de la salle de dissection exigeant qu'on y place un poêle, une étuve et une chaudière, c'est de ces appareils qu'il faut se servir comme de fourneaux d'appel; c'est dans ce but qu'ils ont été tous trois réunis et placés au pied de la grande cheminée. Les figures 3630 et 3631 indiquent la disposition générale dont il s'agit.

En allumant du feu dans le fourneau de la chaudière, dans le poêle ou sous l'étuve, on établit un courant ascensionnel dans la grande cheminée, ce qui attire l'air contenu dans le canal souterrain et dans l'intérieur de la table de dissection, d'où il suit que l'air de la salle est entraîné vers le cadavre placé sur la table, et que cet air, après avoir entouré le corps, passe par les trous du couvercle de cette table, pour aller, à travers son pied et le canal souterrain, satisfaire à l'appel de la cheminée. Le dessus de la table de dissection et le cadavre qui y est placé sont ainsi continuellement ventilés par un courant descendant, qui se charge des émanations du corps et les entraîne vers le fourneau d'appel, dans la cheminée et en dehors de la salle de dissection.

On voit donc qu'avec ce système de construction il ne peut plus y avoir dégagement d'odeurs désagréables dans la salle, et que l'on pourrait même y disséquer des cadavres en putréfaction, sans que l'odorat pût y indiquer la présence de ce foyer d'infection.

Le système de construction étant conçu, il restait d'autres conditions à remplir;

Description des tables de dissection ventilées, en fonte.

Les eaux provenant du lavage du cadavre posé sur la table de dissection et celles qui s'en échappent coulent dans une caisse étamée, plus profonde d'un bout, et qui les envoie dans un seau placé au-dessous; des trous égaux en somme à la section du canal souterrain sont percés tout autour de la caisse, pour égaliser la ventilation sur le cadavre.

On voit en S la grille en cuivre qui reçoit le corps. Un pied creux, portant le dessous de la table, reçoit l'air qui a balayé le cadavre, sous l'appel de la cheminée et par des foyers d'appel et qui débouche dans un conduit souterrain d'appel, allant de la table au bas de la cheminée. O est le fourneau d'appel de l'amphithéâtre de dissection.

Terminons ce chapitre en indiquant ce que l'anatomiste doit faire pour tirer le meilleur parti possible de l'appareil.

Supposons que c'est en hiver que l'on a à se servir de cette table de dissection : on doit commencer par allumer le feu dans le poêle à courant d'air, on établit ainsi facilement l'appel dont on a besoin dans la cheminée générale, et l'on peut en outre donner à l'air de la salle la température jugée la plus avantageuse, pour le travail que l'on a à y faire.

Nous ferons observer que si la ventilation établie autour du cadavre était trop forte, il en pourrait résulter un refroidissement gênant et une trop grande évaporation de la transpiration cutanée à la surface des mains et du visage de l'opérateur, ce qui ne laisserait pas que d'être un grave inconvénient. Il est donc important de réduire la ventilation justement au point convenable; or, les clefs ou soupapes placées sur le canal c et sur ses embranchements donnent facilement le moyen d'arriver à ce but : il suffira donc de s'en bien servir pour se placer, sous le double rapport de la ventilation et de la chaleur, dans les conditions où l'on désirera se trouver.

De la Macération des pièces anatomiques.

Le procédé par lequel on désorganise les tissus animaux, en les tenant, pendant un temps convenable, en macération dans l'eau froide, est certainement, de toutes les opérations qui se pratiquent dans les salles de dissection, celle qui donne lieu aux émanations les plus repoussantes et aux plaintes les plus graves. Nous croyons qu'à l'avenir il suffira, pour arriver à ce résultat sans aucune odeur, d'y établir l'appareil ventilateur que l'on voit sur la fig. 3630 et 3631, placé après la salle de dissection, et dont nous avons déjà parlé plus haut.

Cet appareil se compose :

1° D'un vasistas placé, autant que possible, du côté du nord et au haut d'une fenêtre ou de la porte de la pièce.

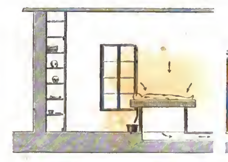
2° D'une hotte générale, occupant tout le côté de la pièce où se trouve placée la cheminée, et communiquant avec cette cheminée, dans toute sa largeur, par une large ouverture.

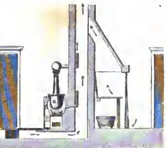
3° D'une série de tables montées à charnières sur la pièce de bois qui règne dans toute la longueur de la hotte, et qui se trouve isolée du mur près duquel elle est placée parallèlement par un espace vide, ayant 1 décimètre de large. Ces tables, relevées le long du mur de fond, donnent la facilité de bien conduire les macérations dans les baquets : étant abaissées et po-

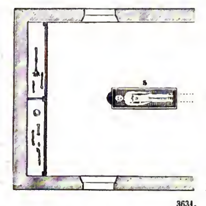
sées sur les poteaux montants, elles servent, comme des tables ordinaires, soit à y poser les cadavres que l'on conserve pour la dissection, soit à y achever la pré-

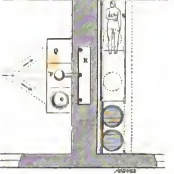
l'auteur de cet article (fig. 3632), sont composées de deux pièces ajustées ensemble; d'un pied cylindrique creux, fixé dans une pierre de taille, sur le caniveau,

3630.









3631.

paration des pièces anatomiques, après qu'elles ont été soumises à la macération dans les baquets placés au-dessous de ces tables.

4° De rideaux en toile d'un tissu serré descendent presque jusqu'au sol et sont garnis, à leur partie inférieure, de balles de plomb destinées à leur faire conserver la position verticale, malgré l'action du courant d'air auquel ils doivent être continuellement exposés.

Tables de dissection ventilées en fonte.

Par suite du succès obtenu dans la construction qui vient d'être décrite, deux tables de dissection en fonte ont été établies à l'Hôtel-Dieu, pour le service de la salle d'autopsie. Quelques modifications de détail ont été faites à leurs premières dispositions; quelques autres, dont l'utilité a été reconnue, seront introduites dans les tables que l'on construira, sans doute, pour d'autres établissements semblables. Ces diverses modifications, indiquées par l'expérience, sont effectuées dans la description que nous donnons des tables de dissection ventilées, proposées pour ces nouveaux établissements.

Les tables de dissection en fonte, construites par

3632.

qui communique au cendrier du fourneau d'appel, et d'une table creuse, alésée de manière à entrer à frottement gai sur le pied.

Les moulures du pivot de la table et celles du pied, qui se raccordent, portent chacune à l'intérieur une rainure demi-cylindrique, qui reçoit de petites sphè-

res de fer ou d'acier, servant de galets, pour faciliter le mouvement de la table autour de son pied; une clef F, ajustée dans ce pied, sert à régler le tirage.

La construction de ces tables en fonte a permis de supprimer la cuvette de cuivre qu'il avait été nécessaire d'adopter dans les tables en bois de la Pitié. En effet, sur les tables destinées dans les hôpitaux aux seules autopsies cadavériques, on prodigue l'eau, ce qui, quand on peut l'éviter, n'a pas lieu sur les tables de dissection, où l'on a à craindre l'infiltration des cadavres. Cette eau aurait pu passer dans le pied de la table, et rendre son mouvement difficile, en couvrant de rouille les galets et le pivot.

Avec la disposition ici adoptée, l'eau tombe dans la table de fonte, sous laquelle se trouve un robinet, qui retient ou laisse à volonté écouler cette eau. A l'intérieur, autour de l'ouverture d'appel du pied, est un rebord, coulé avec la table même, et qui retient les eaux tombées à travers le grillage; sur ce rebord se trouve ajusté un chapeau de cuivre, par lequel sont couverts et aussi garantis de la chute des eaux, le pied et le caniveau.

On a remarqué dans les tables de l'Hôtel-Dieu que la section des ouvertures du plateau à grillage et l'espace ventilé sont trop larges, de sorte que la vitesse de l'air s'y trouve trop petite, et le courant d'air trop peu concentré sur le cadavre; qu'ensuite, les ouvertures carrées du grillage sont difficiles à nettoyer, et qu'une portion de ce plateau réservée sans ouvertures serait fort avantageuse au service pour y déposer les instruments et les organes à examiner; d'après ces deux motifs, nous avons définitivement adopté la construction ici tracée.

Le plateau, ainsi qu'on le voit, fig. 3632, au lieu de s'enlever en une ou plusieurs parties, avec des poignées, est fixé à la table par un seul boulon en acier autour duquel il tourne, comme sur un pivot.

Il en résulte que, sans enlever le cadavre en dissection, on peut avec peu d'efforts ouvrir la table, et en retirer un instrument.

Ce plateau est formé d'un châssis, avec rebords et croisillons en fonte ou en cuivre, couvert d'une feuille de cuivre percée de trous ronds en quinconce, suivant un losange très-allongé, donnant à peu près la forme générale du cadavre. A l'essai de la table, on élargira ces trous par tâtonnement, suivant les besoins. Ces trous doivent être inégaux entre eux; de telle sorte qu'au centre de la table, où est plus vive l'action du tirage, qui s'opère par le pied placé directement au-dessous, se trouvent les plus petits trous, et qu'ils deviennent de plus en plus grands, en s'approchant des deux extrémités.

On parviendra ainsi sans peine à régulariser complétement le tirage sur toute la longueur de la table.

Le châssis du plateau de la table qui porte la feuille de cuivre doit être assez fort pour ne pas se briser sous le poids du cadavre, lorsqu'étant ouvert il se trouve à moitié en porte-à-faux, et retenu seulement par le boulon qui lui sert de pivot, ou quand on y brise des os à coups de marteau.

La clef du robinet sert de crochet pour attacher le seau qui reçoit les eaux réunies dans la table.

Le fourneau d'appel, qui sert en même temps de poêle et de foyer d'appel, a été destiné spécialement au service de la salle d'autopsie de l'Hôtel-Dieu, qui, placée dans ses caves, est humide et froide, où les autopsies se font pendant toute l'année, et où le chauffage d'un poêle n'est pas inutile, souvent même en été. Dans toute autre salle de dissection, on doit craindre, en l'échauffant, de hâter la corruption des cadavres, et alors, le fourneau est le seul à employer.

N° 17. Exhumations.

Les exhumations particulières ont lieu à tout moment dans les cimetières des grandes villes; les exhumations juridiques, pratiquées pour reconnaître un crime, sont aussi très-fréquentes, depuis les travaux d'Orfila qui a, par la certitude de ses recherches sur les poisons, créé la médecine légale.

Des précautions doivent être prises pour opérer les exhumations, qui sont beaucoup moins dangereuses qu'on ne le croyait; 15 ou 20,000 cadavres, à tous les degrés de putréfaction, ont été extraits, en 1785 et 1786, en six mois de temps, du cimetière et de l'église des Innocents, sans qu'aucun accident en soit résulté, soit parmi les ouvriers qui faisaient le travail, soit dans le voisinage. Il n'y a de véritable danger que quelques jours après l'inhumation, quand la putréfaction est dans toute sa force; il s'échappe alors du cadavre une liqueur et des gaz fétides et très-dangereux.

S'il s'agit d'extraire un cadavre d'une fosse particulière, il faut le faire le matin, de bonne heure, avec un nombre suffisant d'ouvriers, pour que l'opération marche vite, et arroser la fosse et le cercueil de chlorure de chaux, en prenant garde d'en arroser le cadavre, dont on hâterait ainsi la décomposition.

Quand on fait une exhumation juridique, il est important de faire immédiatement les recherches qui doivent avoir lieu, l'expérience ayant prouvé qu'un cadavre qui a été exposé à l'air entre bien plus vite en décomposition. Les exhumations qui ont pour objet l'évacuation d'un cimetière exigent beaucoup plus de précautions.

On choisit la saison la plus froide, et on ne doit jamais continuer par le *vent du sud*; on emploie un nombre assez grand d'ouvriers pour que le travail ait lieu rapidement, et en remplace les ouvriers qui sont indisposés. On aura soin de bien aérer tous les jours les vêtements des ouvriers et de ne se servir que d'outils à long manche. Quand on est obligé de pénétrer dans des caveaux, ce ne doit être qu'après les avoir parfaitement aérés, soit par un fourneau d'appel, soit par une injection d'air, et lorsqu'une bougie descendue dans le caveau y brûle parfaitement.

Il faut que les premiers ouvriers qui y entrent soient attachés sous les aisselles et aient au nez et à la bouche du linge trempé dans du vinaigre. Quand un caveau est rempli d'eau, on le vide avec une pompe.

Exhumation des victimes de Juillet. — Les victimes de Juillet, qui avaient été enterrées sur plusieurs points de Paris, ont été exhumées pour être déposées sous la colonne de la place de la Bastille, le 28 juillet 1840. Darcet, comme membre du conseil de salubrité, fut chargé de présider à l'exhumation des corps qui avaient été enterrés devant la colonnade du Louvre.

Un procès-verbal a été rédigé par lui. La fosse avait été creusée d'avance jusqu'au niveau du sol, où l'on apercevait les ossements. On commença à extraire les ossements de la fosse; on les trouva tout à fait mis à nu, sans vestiges notables de chair ni même d'habillement; ces ossements étaient séparés de la terre, et ils étaient ensuite mis dans les cercueils de plomb destinés à être portés dans les caveaux de la colonne. La recherche et l'enlèvement de tous les ossements furent faits sans difficulté. En 1830, on avait inhumé les corps dans une fosse maçonnée partout et où il y avait eu de la chaux, ce qui avait hâté la dessiccation des ossements.

Cette opération s'est faite, du reste, en une heure de temps et sans que la moindre odeur ait été sentie.

N° 18. — Brochage de livres.

Le grand défaut de cette industrie est le danger constant d'incendie; les exemples de graves incendies

de ce genre sont très-fréquents, comme celui qui a détruit les ateliers de la rue du Pot-de-Fer.

Les conditions de sûreté à imposer sont :

1° D'exiger une déclaration préalable pour les grands établissements qui se forment;

2° De construire les bâtiments en moellon et roche, avec planchers en fer et tout à fait isolés;

3° Les séchoirs seront bien plafonnés et sans communication directe avec le reste des bâtiments. Les poêles et les tuyaux qui traversent les ateliers doivent être entourés de grillage en fil de fer de 1 centimètre de maille, et il ne faut pas déposer de papiers en tas près des fenêtres des séchoirs, parce que c'est toujours là que se porte la flamme au premier moment, à cause des courants d'air.

4° L'instruction doit conseiller aux grands établissements la substitution du chauffage à vapeur ou au moins de calorifères à air chaud aux simples poêles, et l'emploi des cordes trempées dans l'alun, ce qui leur ôte leur inflammabilité; on ne doit se servir la nuit que des lampes à cheminée de verre; enfin il faut nettoyer souvent les tuyaux du poêle et n'y brûler que de la houille, dont la suie n'est pas facilement combustible.

N° 19. — Art du doreur.

La dorure sur bronze ou sur cuivre se fait par trois procédés différents : à l'aide d'un amalgame d'or, au trempé, ou par les procédés galvaniques.

Pour exécuter la *dorure au mercure*, la pièce de bronze ou de cuivre est d'abord recuite et dégagée de toute graisse, de tout oxyde, en la chauffant au rouge cerise sur la forge, bien entourée de charbon de bois ou de mottes à brûler, puis on la laisse refroidir lentement. Au plus fort du tirage de la forge, cette opération dégage des oxydes de zinc et de cuivre en vapeur et des gaz délétères.

Les pièces sont ensuite soumises au *dérochage* ou *décapage*: pour enlever à la pièce recuite l'oxyde formé à sa surface, on la trempe dans un baquet rempli d'acide azotique, nitrique ou sulfurique très-étendu d'eau, on la frotte avec une brosse rude, on lave à l'eau et on sèche; on trempe ensuite la pièce dans un bain d'acide nitrique à 36 degrés, puis du même acide mêlé de suie et de sel marin; on lave et on sèche à la sciure de bois.

L'acide sulfurique, qui ne dégage aucune vapeur nitreuse, est très-bon pour commencer le décapage.

L'amalgame d'or, mis dans un plat de terre sans couvercle, s'applique en trempant une grosse brosse à fils de cuivre dans une dissolution de nitrate de mercure, en prenant de l'amalgame et en frottant la pièce, jusqu'à ce qu'elle en ait assez.

Cette opération est très-dangereuse pour les ouvriers, qui doivent toujours porter là des gants de vessie ou de taffetas ciré et ne travailler que sur une forge converte d'une hotte et à grand tirage; un quinquet placé sur la forge augmenterait au besoin le tirage.

La pièce couverte d'amalgame est chauffée sur des charbons ardents, placée sur un gant épais et frappée avec une brosse pour répartir l'amalgame, puis remise au feu jusqu'à complète évaporation du mercure; on lave à l'eau acide, à l'eau de vinaigre, avec la brosse, puis à l'eau, et on sèche à la sciure de bois.

Cette opération est la plus dangereuse de l'art du doreur; un mauvais tirage ou des courants descendants tiennent les ouvriers dans l'acide carbonique, l'azote et l'oxyde de mercure, les vapeurs de mercure, d'acide nitrique et nitreux.

Pour assainir ce travail, il faut que les gants soient doublés de vessie ou de taffetas ciré, afin que le mercure ne pénètre pas jusqu'à la main de l'ouvrier et ne lui donne pas un tremblement mercuriel.

Il faut passer les pièces sous le manteau de la hotte avec un très-bon tirage, sans jamais les sortir, prendre toutes les précautions pour que rien ne s'échappe de la cheminée dans l'atelier, qu'on ne quittera jamais sans se laver les mains et la figure, et où on ne mangera jamais.

Les pièces dorées sont alors, on brunies à l'hématite, ou passées au mat, en les chauffant avec un mélange de sel marin, de nitre, et d'alun fondu dans l'eau.

Cette opération, qui dégage des vapeurs de sublimé corrosif, mêlées de vapeurs de mercure et d'acide azotique, est très-dangereuse, et ne doit être pratiquée que sous le manteau de la hotte où l'on a mis le poêlon au mat et son foyer, le petit four on moufle où l'on chauffe la pièce, et le baquet où on la trempe.

L'or moulu et la couleur d'or rouge s'obtiennent par des opérations moins dangereuses que la précédente, mais qu'on ne doit cependant pratiquer que sur une forge à bon tirage, et avec les précautions que nous avons indiquées.

Des Moyens de salubrité trouvés par Darcet, pour la dorure au mercure.

Voici les principes qui servent de base à la construction d'un atelier salubre de dorure, et la manière de les appliquer à chaque cas particulier.

Le doreur qui veut monter un atelier doit choisir un local assez grand, exposé au nord ou au levant, bien aéré et bien éclairé. La cheminée de l'atelier doit être large, et avoir au moins 5 ou 6m de hauteur; elle doit dépasser de 2 ou 3m les toits voisins, à une assez grande distance; elle ne doit recevoir aucun tuyau de poêle ni aucune cheminée dans sa hauteur, et ne servir qu'à la forge seule. Si la cheminée est obstruée de mitres et de tuyaux, on les enlève, pour les remplacer par un chapeau horizontal en tôle.

Le tirage n'est que l'effet produit par l'action de la pression de l'air dans la cheminée. Pour l'obtenir et qu'il soit puissant, il faut échauffer l'air dans le tuyau, et laisser affluer l'air du dehors pour remplacer celui qui est toujours entraîné vers le haut du bâtiment; l'air introduit dans une chambre qui fume, par l'ouverture des portes et des croisées, est trop abondant, et forme surtout des courants rapides, qui s'opposent souvent à l'effet à produire.

Il vaut mieux installer en haut de chaque fenêtre un bon vasistas à soufflet, s'ouvrant en dedans, et avec lequel on règle à volonté l'air extérieur, qui se mélange à l'air le plus chaud de la pièce sans abaisser la température de l'atelier; les fenêtres et les portes sont ainsi toutes fermées, sans nuire au tirage de la cheminée ni à la santé des ouvriers. Si on peut tirer l'air frais d'une cave, c'est une très-bonne chose en ayant soin d'en introduire une quantité égale à l'autre bout de la cave.

Ces précautions étant prises pour l'introduction de l'air nécessaire au tirage, et une hotte étant construite assez large et assez longue pour recevoir tous les appareils nécessaires, il ne s'agit plus que de construire sous la forge un petit foyer d'appel, pour échauffer à volonté l'air de la cheminée.

Le foyer d'appel sert à gouverner tout l'appareil; on doit l'allumer tous les jours et utiliser sa chaleur, soit à échauffer le poêlon au mat, soit à tout autre service utile à l'atelier. La cheminée du foyer d'appel doit être en brique, assez haute et assez épaisse pour porter la chaleur à plusieurs mètres de hauteur; elle est amenée au centre de la grande cheminée par un tuyau en tôle de 12 ou 13 centimètres de diamètre, pour diminuer le moins possible la section de la cheminée.

Le foyer d'appel brûlera de la houille, chauffage le plus économique.

Le poêle de l'atelier, s'il est assez grand et muni de bonnes et larges bouches de chaleur, peut remplacer, en hiver, le vasistas et le foyer d'appel, en versant

de l'air dans l'atelier, et donnent un bon tirage dans la cheminée, avec son tuyau de fumée, qui montera verticalement de 2m, au moins, et qui aura un coude.

Pour que le tirage soit très-rapide sous le manteau de la forge, l'ouverture antérieure de celle-ci, où l'ouvrier travaille, doit être rétrécie par une cloison en plâtre, ou par des châssis vitrés, s'ouvrant verticalement, avec des contre-poids et des rideaux qui servent à régler le tirage suivant le besoin, et à faire avec sécurité et commodément les opérations les plus dangereuses de la dorure sur bronze.

Nous donnons ici trois figures, tirées de la forge de Lenoir-Ravrio [1], et qui représentent d'une manière claire les dispositions d'une forge de doreur complète et parfaitement salubre.

On y voit les châssis vitrés, les contre-poids et les rideaux de toile, le foyer d'appel avec ses détails, portant le poêlon au mat, la forge où est allumé le charbon de bois, le baquet à dérocher, et celui à tremper les objets au mat. Une forge complète doit avoir au moins six divisions, séparées par des cloisons verticales, mais soumises au même appel de la cheminée générale et du foyer d'appel.

Le combustible placé sur la grille du foyer d'appel brûle à flamme renversée. Nous n'entrerons pas dans le détail de la marche que doit suivre l'ouvrier dans son travail; on doit laisser toujours refroidir les pièces sous le manteau ventilé, et ne passer à une autre opération que quand les pièces sont parfaitement refroidies, sous la hotte à ventiler.

Toutes les opérations accessoires auxquelles sont soumises ces pièces dorées sont faites avec les mêmes précautions de salubrité que celles dont nous avons parlé. On a pensé qu'en supprimant le mercure du travail de la dorure, on rendrait cette industrie salubre : c'est une erreur, car les causes d'insalubrité de ce travail, sont, en grande partie, indépendantes du mercure. D'ailleurs, tous les efforts faits pour dorer à chaud sans mercure ont été tout à fait infructueux.

On doit insister beaucoup sur la nécessité, pour les ouvriers, de se laver avec soin en finissant leur travail, et de ne jamais manger dans l'atelier; avec ces soins, l'industrie de la dorure au mercure sera parfaitement salubre. Les eaux acides du dérochage détruiraient bien vite les égouts et la voie publique, on doit les saturer avec de la craie, avant de le laisser couler au dehors.

La dorure au trempage, employée pour les bijoux de cuivre, se fait en les plongeant parfaitement décapés, dérochés et avivés, dans une dissolution bouillante de chlorure d'or, dans un carbonate alcalin; au bout d'une demi-minute, ils ont pris ce qu'ils peuvent prendre d'or.

Les mesures prescrites par le conseil de salubrité de Paris, sur le rapport de Darcet, sont :

1° De rétrécir le plus possible l'ouverture de chaque foyer, sans gêner le travail.

2° De donner à la cheminée 2m, au moins, au-dessus du faîtage des maisons voisines.

3° De faire établir un bon foyer d'appel dans chaque forge, et un bon vasistas à soufflet dans l'atelier.

4° D'avoir dans l'atelier un flacon d'ammoniaque, en cas d'accident causé par des vapeurs nitreuses et du carbonate de chaux, pour saturer de suite les eaux acides. Les établissements des doreurs sur métaux sont rangés dans la troisième classe.

Assainissement de la dorure par la voie humide et par le procédé galvanique. — Ces procédés ont donné des produits de dorure si économiques et si abondants, qu'ils ont envahi en partie l'ancien travail au mercure, mais sans le remplacer entièrement.

[1] *Mémoires* de Darcet, tome 1er, chez Lacroix et Baudry, libraire-éditeur.

On avait espéré que la dorure, par la voie humide, rendrait cette industrie tout à fait salubre.

Les vapeurs nitreuses dégagées dans le dérochage des pièces, au milieu d'une fabrication excessivement active, ont été plus dangereuses encore que celles du mercure.

Dans un rapport fait au préfet de police, en 1842, sur l'assainissement des ateliers de dorure par la voie humide, et en particulier celui de M. Elambert, Darcet constate que les anciens ateliers de dorure au mercure étaient rendus bien plus insalubres par les vapeurs acides provenant, soit du dérochage, soit de l'application de l'amalgame sur le bronze, soit de la mise au mat, que par le contact du mercure et de vapeurs mercurielles avec les organes des ouvriers.

Dans le procédé par la voie humide, l'ouvrier a non-seulement à recuire et à dérocher les pièces plus fortement encore que quand il met au mat, il doit opérer tout à fait en grand avec l'eau régale, l'acide nitrique et l'acide sulfurique, pour dissoudre l'or, le platine et l'argent.

Les ateliers de dorure par la voie humide sont donc bien plus insalubres que ceux au mercure, et l'altération rapide de la santé, la mort même, résultat nécessaire de la respiration des vapeurs acides dans un petit atelier où se fait une immense fabrication, sont bien plus graves qu'un accident par le mercure, toujours guéri promptement. Les beaux services rendus par Ravrio aux ouvriers doreurs conservent donc toute leur actualité, car tout ce qui a été fait pour assainir les ateliers de dorure au mercure doit être fait, à plus forte raison, pour ceux par la voie humide; mais les dispositions, si utiles pour les premiers, suffiront largement pour rendre les autres ateliers parfaitement salubres, et pour préserver entièrement les voisins des dangers et des incommodités d'un pareil atelier.

En conséquence, sur la proposition de Darcet, il a été arrêté, par le conseil de salubrité de Paris, que toutes les dispositions d'assainissement prescrites pour les ateliers de doreur au mercure seraient exigées aussi pour les ateliers par la voie humide.

Forge salubre. — Les figures 3633, 3634 et 3635 représentent la forge assainie de Lenoir Ravrio.

Fig. 3633. Elévation générale de la forge de doreur vue de face.

A. Forge à recuire.

B. Baquet à dérocher.

C. Forge à passer; on y volatilise tout le mercure qui a servi à dorer.

D. Forge où l'on met au mat les pièces dorées; en enlevant la plaque de fonte qui sépare ces deux dernières forges, on a le moyen de pouvoir dorer sans danger de très-grandes pièces.

E. Tonneau dans lequel se trempent les objets mis au mat.

H. Forge où l'on fait sécher les pièces de bronze dorées, lorsqu'elles sont achevées et lavées avec soin.

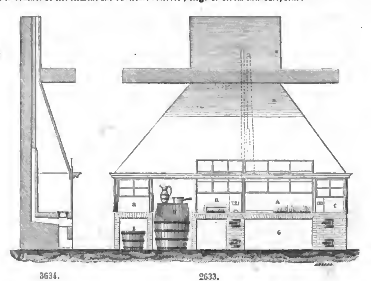
G. Cases réservées sous la forge à dorer pour y mettre en magasin du charbon de bois, ou tout autre objet.

Des rideaux servent à fermer, en tout ou en partie, l'ouverture de la forge à recuire, la niche où se trouve placé le tonneau au mat, et la forge à sécher. Des châssis vitrés sont destinés à rétrécir, par le haut, l'ouverture de la forge et la forge à sécher; les rideaux servent à couvrir le reste de l'ouverture de ces foyers.

La figure 3635 représente une coupe verticale du fourneau d'appel placé au milieu. On voit que le charbon placé en A brûle à flamme renversée, comme dans les alandiers des fours à porcelaine, tandis que le bois, le coke ou le charbon de terre, se brûlent sur les grilles par le procédé ordinaire. Les gaz produits par la combustion de ces deux grilles se réunissent dans le passage voûté et se rendent dans la cheminée du fourneau

d'appel, d'où ils passent dans la cheminée générale de la forge; de là ils vont, fig. 3634, porter de la chaleur et déterminer le tirage qui rend tout l'appareil salubre.

Des bouches de tôle ferment une ouverture réservée dans le bas du fourneau d'appel. Cette ouverture sert à introduire le col du matras dans lequel on prépare la dissolution mercurielle, nommée *gaz*, employée pour dorer. On prépare aussi au-dessous de cette fente l'amalgame d'or et de mercure, et on évite ainsi les vapeurs délétères qui se dégagent pendant le cours de ces deux opérations. Ces vapeurs sont rapidement entraînées au dehors, par suite de la grande aspiration qui s'établit dans la cheminée du fourneau d'appel.



3634. 3633.

Les grands châssis mobiles, verticalement tenus en équilibre par les contre-poids, ferment plus ou moins et même tout à fait les ouvertures des forges. On a ainsi le moyen d'y accélérer autant qu'on le désire le courant d'air, et, en abaissant entièrement les châssis, on peut rendre extrêmement rapide le passage de l'air à travers les autres forges, ce qui est utile lorsqu'on pratique des opérations dangereuses.

3635.

On voit, fig. 3635, que les cinq forges sont séparées les unes des autres par des languettes qui s'élèvent au-dessus du plafond de l'atelier; on y voit aussi que les tuyaux H, H, des fourneaux d'appel montent un peu plus haut que ces languettes, et qu'ils commandent ainsi le tirage des forges lorsqu'ils portent dans la cheminée de la chaleur, qui, en dilatant l'air, établit le courant ascendant dont on a besoin.

En résumé, les conditions imposées pour assainir une forge de doreur insalubre, sont :

1° De surhausser et de dégager la cheminée, si elle n'est pas assez haute et assez libre.

2° D'établir un bon fourneau d'appel sous la forge pour assurer un fort tirage, et y mettre la forge à passer et celle au mat.

3° De rétrécir le plus possible l'ouverture antérieure de la forge.

4° De placer de bons vasistas à soufflet aux fenêtres qui sont en face de la forge et au nord ou à l'est, quand on le peut.

5° De saturer avec de la craie les eaux de dérochage et les autres eaux avant de les laisser écouler sur la voie publique.

Ramonage des cheminées de doreur. — Le ramonage des cheminées du doreur est lié à son industrie; des conditions prescrites d'avance doivent présider à leur ramonage, qui, sans cela, serait très-dangereux pour les ramoneurs; c'est là que s'amasse le mercure volatilisé et toutes les vapeurs acides qui proviennent des dernières opérations.

La suie contient, en effet, plusieurs métaux, du mercure et de l'or surtout; elle est d'autant plus lourde qu'elle est ramassée plus bas. La quantité de mercure est considérable, et un ramonage fait sans précautions dans de pareilles conditions causerait une grave maladie à l'enfant qui le ferait.

Le ramoneur, choisi bien portant, doit mettre des gants et un serre-tête de cuir ou de toile cirée; on doit lui envelopper le visage de deux serviettes bien lâches et lui faire mettre ses habits à part. Après le travail, il se lave à fond, boit du lait, remet ses habits, et l'opération ainsi conduite est sans inconvénient.

Pour l'*exploitation des eaux mercurielles et des cendres de doreur*, le traitement des eaux ebargées de mercure provenant des ateliers de doreur et celles des cendres du doreur, pratiqué par les procédés perfectionnés et simples qu'on emploie aujourd'hui, sont deux industries autorisées dans les villes et qui ne nuisent pas à leurs voisins.

Elles sont de la troisième classe.

N° 20. — Féculeries.

Les conditions à imposer à ces établissements sont : La suppression du brasiers très-dangereux pour sécher les fécules, leur remplacement par un calorifère à air chaud placé à l'étage au-dessous, et l'emploi des planchers en fer au lieu de planchers en bois.

Ils doivent jeter les eaux de lavage des pommes de terre et de la féculerie, qui se corrompent si vite et qui sont très-abondantes, dans un égout et non pas dans la rue; et si la féculerie est dans un village, ils ne doivent les jeter que dans un ruisseau pavé.

N° 21. — Assainissement des fabriques de fer-blanc.

L'assainissement de tous ces ateliers, par la ventilation forcée repose sur des principes si simples qu'il est inutile d'y revenir; mais il n'en est pas de même pour les applications à chaque industrie spéciale, où l'ingénieur est obligé de varier ses moyens d'action pour satisfaire à tous les cas particuliers.

La fabrication du fer-blanc se divise en deux opérations distinctes : le décapage parfait des feuilles de tôle et l'étamage des tôles bien dérochées. Le décapage des feuilles de tôle se pratique en les mettant tremper dans de l'acide sulfurique ou de l'acide hydrochlorique faible; les feuilles, retirées de ce bain, sont ployées en deux, par le milieu et en travers de leur longueur, en leur donnant la forme d'un toit, et portées toutes mouillées d'acide dans un four assez échauffé pour vaporiser promptement l'eau, faire réagir l'acide sur le fer, détacher et faire tomber les écailles d'oxyde de fer formées sur les surfaces de la tôle. Les feuilles sont remises aussitôt dans un bain d'eau aciduléc, et le décapage est achevé par des moyens purement mécaniques. Les tôles, bien décapées, sont enfin étamées en les plongeant successivement dans divers bains composés de suif seul, d'étain couvert de suif et d'étain pur, tous chauffés presque jusqu'au degré de chaleur où le suif peut s'enflammer.

Il ne peut donc y avoir d'insalubrité dans la fabrication du fer-blanc que par la production du gaz hydrogène qui se dégage sous l'action des acides faibles sur les tôles, et surtout par des vapeurs infectes et insalubres que donne le suif rance, continuellement en contact avec des oxydes métalliques, et le fer chauffé au point de le vaporiser et de l'enflammer.

Pour assainir le décapage des tôles avec des acides faibles, il suffit de le pratiquer sous une hotte dont l'ouverture antérieure soit très-étroite et communique avec une cheminée de 10 ou 12 mètres de hauteur et dont la section soit égale au dixième de l'ouverture de la hotte. On donnera au courant ventilateur une vitesse convenable au moyen d'un fourneau d'appel spécial ou de tout autre moyen d'échauffer la colonne d'air, au-dessous de la hotte, disposition semblable à celle que nous donnons plus loin pour l'étamage des tôles décapées.

La partie du décapage des tôles qui se fait dans un fourneau à réverbère donne aussi lieu au dégagement de gaz et de vapeurs insalubres; mais comme ils se mélangent aussitôt à la fumée, ils sont portés avec elle, à une grande hauteur. Le four à réverbère, bien fumivore, doit seulement être chauffé avec du coke, et, dans les deux cas, la cheminée aura assez de hauteur pour que le voisinage n'en souffre pas. L'étamage des tôles dérochées est sans contredit l'opération la plus insalubre de cette industrie. Donnons donc la description détaillée de l'appareil ventilateur que M. L. Mertian a fait établir dans sa fabrique de Montataire, sous la direction de Darcet[1].

Cet appareil se compose d'un grand fourneau, adossé à l'un des gros murs de l'atelier et couvert, à une hauteur convenable, par une hotte conduisant au dehors, et à une élévation suffisante au-dessus du toit, la fumée des fourneaux, la graisse vaporisée, et les produits gazeux pyrogénés auxquels le travail de l'étamage donne lieu. Voici la description des différentes élévations et coupes de cet appareil.

[1] La lettre suivante de M. L. Mertian à Darcet sera utile pour compléter cette note :

« Monsieur,

« J'ai l'honneur de vous remettre le plan que vous me demandez, de l'étamerie de Montataire. Elle a été construite conformément aux indications que vous avez bien voulu me donner dans le temps, et elle ne laisse rien à désirer sous le rapport de la salubrité. Sans aucun appareil spécial de ventilation, le tirage est déterminé naturellement par l'appel que produisent les foyers des creusets qui contiennent l'étain et la graisse. Pour obtenir un tirage qui entraîne toutes les vapeurs sans incommoder les étameurs par un courant d'air trop vif, il a fallu tâtonner la distance entre l'âtre et le manteau de la cheminée. On a adopté celle de 0m,80, qui remplit ces deux conditions. L'ancienne étamerie avait l'inconvénient de manquer de tirage. Les vapeurs des creusets se répandaient dans l'atelier et occasionnaient aux étameurs des malaises et des nausées qui allaient quelquefois jusqu'aux vomissements.

« Depuis la reconstruction, non-seulement ces inconvénients ont cessé; mais il n'y a plus même la moindre odeur dans l'atelier.

« Ce changement n'a eu aucune influence sur les consommations en combustible, graisse et étain.

« L'atelier du dérochage a été organisé d'une manière tout à fait analogue à celle de l'étamerie.

« Je joins à cette lettre un flacon contenant un échantillon de graisse pris sur un bain d'étain.

« Agréez, monsieur, la nouvelle assurance de ma haute considération.

« Signé : Mertian »

Les figures 3636 et 3637 représentent le fourneau salubre pour fabriquer le fer-blanc.

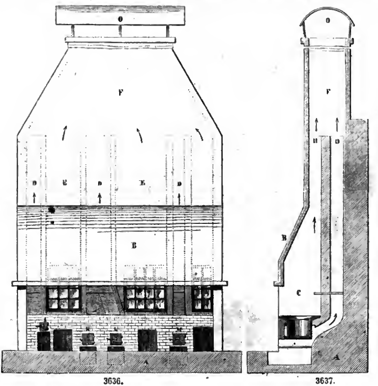
A. Massif qui porte le système.

I K L M. Pertes des quatre fourneaux nécessaires au travail complet.

B. Grande hotte qui recouvre les fourneaux, les creusets et le travail.

et par paquets, le brosseur les en retire pour les brosser une à une et les plonge ensuite dans le deuxième compartiment rempli d'étain plus pur; il les en retire et les pose de champ dans un grillage plongé dans la caisse, qui ne contient que de la graisse.

Enfin, après avoir été brossées, l'ouvrier les porte à la dernière caisse en fonte; elle est chauffée par un



3636. 3637.

C. Ouverture de 0,807 de hauteur, que laisse la hotte au-dessus des fourneaux.

D D' D'' D'''. Cheminées qui desservent les quatre fourneaux, et qui viennent déboucher sous la hotte dans la cheminée générale F.

F. Cheminée générale qui monte assez haut sur le toit pour porter au loin les vapeurs dégagées dans le travail du fer-blanc.

O. Chapeau en tôle qui recouvre la cheminée générale.

H. Vide réservé devant les cheminées D pour la communication de la hotte avec la cheminée générale; cette ouverture est munie de trappes pour régler le tirage qui, s'il était trop fort, gênerait les ouvriers.

N. Les six creusets servant à la fabrication du fer-blanc sont couverts par la grande hotte de ventilation; quatre seulement par des foyers spéciaux, les deux autres par la chaleur du fourneau.

L'ouvrier étamour met les feuilles de tôle étamée dans une première caisse remplie d'étain ordinaire

foyer, et ne contient que peu d'étain pur fondu. C'est dans cette caisse que l'on plonge la partie inférieure des feuilles de fer-blanc, pour en enlever l'excès d'étain qui s'est accumulé en bourrelet vers le bas des feuilles, par suite de leur refroidissement dans la position verticale, lors de leur placement dans la caisse à égoutter. Ce bourrelet d'étain formant, comme on le dit, *lisière*, étant ainsi fondu, est enlevé, en donnant brusquement à chaque feuille un léger coup au moyen d'une baguette; il ne reste plus alors qu'à dégraisser et nettoyer les feuilles de fer-blanc, ce qui se fait en les frottant convenablement avec du son bien sec, etc., etc.

D'après la description qui précède, on voit :

1° La relation qui existe entre la partie inférieure de la grande hotte et la devanture du fourneau, dont la paillasse est élevée de 1m au-dessus du sol de l'atelier.

2° Les dispositions intérieures de la première caisse en fonte, de son foyer et de son cendrier.

3° Comment la cheminée qui sert aux quatre four-

neaux donne lieu à un puissant appel dans la cheminée générale.

Un chapeau en tôle est sur la cheminée, pour s'opposer à la chute de la pluie et aux effets du vent.

On verra, maintenant, comment la ventilation s'opère sous la grande hotte, et produit l'assainissement complet de l'atelier où s'étament les tôles.

Pour faire comprendre le jeu de l'appareil ici décrit, il suffira de résumer ce qui a été dit plus haut. L'établissement de la ventilation forcée, dans l'intérieur de l'appareil, a lieu dès qu'on allume du feu dans l'un des quatre fourneaux, ou plutôt dès que la fumée sortant de la petite cheminée dans la grande, le courant ascensionnel augmente aussi de vitesse dans la cheminée générale, avec le nombre de fourneaux allumés, ou avec l'intensité du feu. L'échauffement du massif dans lequel les quatre foyers sont établis, ainsi que les surfaces très-échauffées des six caisses, dilatent aussi l'air sous la grande hotte C, y augmentent le tirage, et, en outre, y entretiennent la ventilation forcée pendant les heures de repos. Même pendant les jours de repos, l'appel opéré dans la cheminée générale par le service de la petite cheminée fait entrer l'air de l'atelier sous la hotte, entraîne les vapeurs infectes et les gaz délétères produits à la surface des creusets, les conduit dans le haut de la cheminée générale, et de là dans l'atmosphère, ce qui produit l'assainissement complet de l'atelier.

Ajoutons qu'en outre, la même cause empêche l'échauffement de l'air en avant de la hotte, y maintient les ouvriers dans un léger courant d'air pur et continuellement renouvelé, ce qui facilite ainsi doublement le travail pénible qu'ils font pour convertir les tôles noires en fer-blanc.

L'appareil Darcet, fonctionnant indépendamment de la volonté des ouvriers, satisfait à toutes les exigences de la question, et dans toutes les fabriques de fer-blanc qui établiront convenablement cet appareil, on aura, sans peine et sans dépense, le grand avantage de conserver la santé des ouvriers employés à la fabrication du fer-blanc, tout en rendant leurs travaux moins pénibles, et, par conséquent, plus productifs.

N° 22. Laiterie, conservation du lait, surveillance du lait a Paris.

Une ordonnance de police du 27 février 1838 régit aujourd'hui les laiteries de Paris.

Les conditions imposées sont le rejet des laiteries entre les murs d'enceinte et plusieurs grandes lignes, qui ne leur permettent pas de s'établir au centre de Paris.

L'enlèvement des fumiers, l'isolement des magasins à fourrage, de grandes conditions de propreté, sont les dispositions principales de l'ordonnance.

Darcet a fait, le 21 septembre 1841, un rapport au conseil de salubrité sur une eau vendue dans le commerce, et employée à conserver plus longtemps le lait. Cette eau marquait 5 degrés à l'aréomètre, et contenait par 100, 2g,70 d'acide carbonique, et 55 grammes par litre de carbonate de soude. Elle avait dû être préparée en faisant dissoudre du *carbonate de soude* cristallisé, et y ajoutant de l'acide carbonique, ou en dissolvant du bicarbonate de soude dans de l'eau bouillante.

Il montre ensuite que l'on peut conserver longtemps du lait en l'alcalisant convenablement.

Dans une visite faite en 1826, à la belle ferme de Wewelghem, en Belgique, Darcet et Gay-Lussac reconnurent que la moyenne du lait de cet établissement était fortement alcaline.

A Vichy, on ajoute de l'eau minérale contenant du bicarbonate de soude au lait pur, pour les malades qui ne peuvent le digérer.

Partant de là, Darcet pensa à alcaliser le lait, pour le rendre conservable et transportable plus longtemps.

Ce procédé est employé, depuis 1829, à la ferme Sainte-Anne, près Paris, où il a donné les meilleurs résultats. On doit régler à 1 ou 2 décigrammes de bicarbonate de soude par litre de lait le dosage alcalin, et ce dosage n'a jamais été trouvé trop fort, c'est celui que nous conseillons d'adopter.

N° 23. Vernis noir pour les ferrures de harnachements et éperonniers.

Ce travail, qui se fait en chauffant les objets de harnachement en fer, au dessus d'un tas de fumier allumé, et en plein air, et en les chauffant une seconde fois, après les avoir frottés d'huile de lin, est évidemment incommode pour le voisinage, et ne peut être autorisé qu'en faisant l'opération dans des fourneaux disposés de manière à être salubres.

Quant aux éperonniers ou fabricants de *mors et d'éperons en fer étamé*, cette industrie, qui n'était pas encore classée, a été l'objet d'un rapport de Darcet.

Il a fait remarquer que ce sont de petites fabriques de *fer-blanc*, et qu'on devrait les mettre dans la troisième classe, mais que comme l'industrie du fer-blanc en grand est aujourd'hui parfaitement assainie avec les dispositions données par lui, il vaut mieux ne pas augmenter le nombre des ateliers classés. Les vapeurs et les gaz produits par l'étamage des mors et éperons, a-t-il ajouté, qui peuvent se répandre au dehors, proviennent de l'emploi de l'acide chlorhydrique pour le dérochage du fer, et du grand degré de chaleur donné à la couche de suif qui recouvre le bain d'étain. Ce sont là les inconvénients des fabriques de fer-blanc mal montées; par conséquent, l'assainissement des ateliers d'éperonniers est très-facile :

1° En donnant à la hotte et à la cheminée des proportions suffisamment larges et en rétrécissant l'entrée.

2° En y établissant un foyer d'appel et un vasistas à soufflet, pour avoir un bon tirage.

N° 24. Clarification des eaux de rivière, emploi de l'alun.

Pendant longtemps, de nombreux porteurs d'eau de Paris clarifiaient chez eux l'eau de Seine destinée à leurs pratiques au moyen de l'alun, qui est converti alors en alun insoluble, par le carbonate de chaux entraîné en suspension dans les eaux de rivière, et aussi par l'acide carbonique qu'elles ont dissous.

L'alun ainsi précipité en flocons insolubles et volumineux enveloppe les substances hétérogènes et solides que l'eau contient, et les entraîne complétement et rapidement avec lui.

Darcet, dans un rapport très-complet sur cette question, a prouvé que ce système de clarification ne donnait que de bons résultats, et que l'alun employé ainsi à la dose de 1 gramme par 8 litres d'eau de Seine était entièrement précipité; que, de plus, il restait encore dans l'eau une quantité de *carbonate de chaux suffisante* pour précipiter plusieurs fois cette dose d'alun; qu'enfin, l'eau ainsi filtrée conservait la saveur la plus pure et la plus franche.

Il a ajouté que ce procédé était loin d'être nouveau; qu'il était employé dans de sages proportions à l'usine de clarification du quai des Célestins.

En Égypte, on clarifie les eaux en frottant les jarres de dépôt avec des pains de tourteaux d'huile.

Les filtres Fonvielle sont très bons, comme moyen de clarification; mais le filtrage y est beaucoup trop cher, par suite de leurs trop petites dimensions.

Le filtrage à travers les sables des bords des rivières, arrangés en filtres artificiels, comme à Toulouse, a le grand défaut de diminuer tous les jours de puissance de filtration (Voy. filtration).

Le procédé de filtrage le plus parfait et le plus économique est certainement celui monté par M. Jégoux, ingénieur en chef des ponts et chaussées pour les eaux de la ville de Nantes, dans les réservoirs mêmes de la ville et avec une première filtration, sur la rivière même.

Ce système est bien connu de l'auteur de cet article, qui a monté là, avec MM. Windsor, de Rouen, et Granger, les machines, les pompes et le système d'élévation d'eau de cette ville.

N° 25. Assainissement et séchage des maisons et des ateliers humides.

Asphyxies lentes causées par l'insalubrité des logements.

Darcet a eu l'occasion d'observer des cas très-graves d'asphyxie, causés par l'insalubrité des logements. La gravité de la question nous engage à donner ces faits; nous y ajoutons ce qui a été fait jusqu'à présent pour sécher les murs des bâtiments nouvellement construits, et ce qui, à notre avis, doit être fait pour obtenir sûrement des résultats complets et rapides.

Première observation d'asphyxie lente. — Un menuisier de Nancy, bien constitué et âgé de 35 ans, occupait, avec sa femme et trois enfants, une maison achetée depuis peu; lui et sa famille éprouvaient les mêmes symptômes : douleurs de tête, lassitude, dégoûts, nausées, coliques continuelles, dévoiement, enflure et engourdissement des jambes, symptômes qui avaient beaucoup de rapport avec ceux d'un empoisonnement. Ses ouvriers travaillant et mangeant avec lui, mais ne couchant pas dans la même maison, n'avaient rien éprouvé, les voisins non plus.

Quelle était donc la cause évidemment générale qui agissait sur cette malheureuse famille? Le pain était de bonne qualité. L'eau d'un puits commun avec la maison voisine, habitée par un fabricant de papiers peints, qui employait une grande quantité de substances minérales en partie vénéneuses, fut analysée par M. Braconnot, qui la trouva de bonne qualité et sans aucune substance vénéneuse ou minérale.

Une visite des lieux, faite par MM. de Haldat et Braconnot, à la demande de Darcet, apprit que dans la fabrique de papiers peints, on employait des quantités énormes d'arsenic et d'oxyde de cuivre pour la préparation du vert de Schweinfurt.

Le menuisier habitait, au premier, un logement propre, bien exposé et sur le devant.

Dans la boutique à rez-de-chaussée, sur l'indication de Darcet, les professeurs de Nancy reconnurent une large tache humide qui s'étendait fort au delà du plafond et qui correspondait à une cour obscure, audessus de laquelle était un premier étage appartenant à la fabrique de papiers peints.

Cette cour, visitée avec une lanterne, ne recevait le jour que par un châssis vitré de 1 mètre carré, placé dans la toiture.

Elle était restée sans usage depuis plus d'un demi-siècle, et on y jetait tous les débris de la fabrique par une croisée obscure. Un puits abandonné existait là, près de celui du menuisier et sous sa chambre à coucher. Une bougie allumée continuait à brûler dans ce puits, mais il se dégageait de l'intérieur de l'eau des bulles rendues très-abondantes par le jet d'une pierre, qui troublait la vase. Ce gaz analysé se trouva être du gaz *hydrogène des marais*, provenant de la décomposition des matières organiques contenues dans ce puits.

On ne connaît pas la véritable cause des maladies engendrées par le gaz des marais, mais ce sont des maladies d'une nature putride, dites aussi *fièvres d'automne*, comme la maladie observée chez le menuisier, qui était beaucoup plus intense au mois de novembre, et présentait des symptômes analogues.

MM. de Haldat et Braconnot conseillèrent de combler le puits et d'aérer la cour. On se rappela alors qu'un homme d'une taille et d'une force athlétiques était déjà mort dans la même maison, avec sa femme et ses trois enfants, d'une maladie semblable; il paraissait aussi certain que les causes mortifères étaient devenues beaucoup plus intenses depuis quelques années. Deux femmes y ont aussi successivement trouvé la mort, chacune avec des enfants.

D'après Darcet, voici la cause de la maladie en question. À l'entrée de l'hiver, au mois de novembre, on faisait du feu dans le logement du menuisier. L'air extérieur pénétrait dans la cour par l'ouverture du toit, s'infectait et était attiré dans l'appartement par l'appel des cheminées, en passant à travers le mur par les joints et les fentes des maçonneries. Pour remédier à ce dangereux état de choses, il fallut :

1° Ventiler abondamment la cour, en y amenant de l'air pris en bas et l'évacuant par le haut;

2° Supprimer toute communication entre la cour et la maison, mettre des enduits hydrofuges sur le mur;

3° Introduire enfin dans la maison de l'air pur et pris à l'extérieur, pour suffire au tirage des cheminées.

Deuxième observation. — Trois garçons de bureau jeunes et vigoureux étaient morts successivement dans un logement de 2m,95 de hauteur, composé d'une chambre à coucher avec cheminée et d'une antichambre non ventilée. Un tuyau de descente des lieux passait dans l'angle de l'alcôve et avait légèrement infiltré le mur, mais sans odeur sensible. Darcet attribua cette mortalité à l'action lente des émanations du tuyau de chute, qui, surtout pendant la nuit, étaient attirées autour de la tête du lit par l'appel de la cheminée.

Troisième observation. — Une mère, ne voulant pas laisser sortir sa fille de sa chambre pendant la nuit, la faisait coucher avec elle dans un cabinet de 5 mètres de long, étroit, et n'ayant que deux portes à l'extrémité opposée au lit, et où l'air se renouveloit mal. La jeune fille dépérit, et mourut d'une maladie du poumon, bien qu'il n'y eût jamais eu de phthisique dans la famille.

Quatrième observation. — Un employé du Mont-de-Piété dépérissait dans son appartement, où Darcet reconnut bien vite la présence de l'acide carbonique, appelé par la cheminée de la chambre à coucher, toujours chauffée en hiver par du feu, et, en été, par l'élévation forcée de température d'une petite chambre où l'on couche. Le soir, ce gaz descendait par la cheminée du salon, que l'on ne chauffait presque jamais, et qui était commune à une cuisine de l'étage supérieur. Une bonne cheminée à courant d'air, prenant l'air à l'extérieur et placée dans la chambre à coucher, une trappe à la cheminée du salon, et des bourrelets à la porte, entre le salon et la chambre, arrêtèrent le mal.

Cinquième observation. — Une famille était attaquée d'une salivation, due au mercure d'un baromètre cassé, que l'on avait versé sur une assiette oubliée sur une armoire. C'était une petite cause qui aurait produit à la longue de funestes effets.

Sixième observation. — Deux dames ont été asphyxiées, une nuit, par l'acide carbonique, entré dans leur chambre à coucher par le poêle de la salle à manger, où l'on n'avait pas fait de feu depuis longtemps. L'acide était appelé à travers le salon par le feu fait dans la chambre. La cheminée où donnait le tuyau de poêle dépendait d'un appartement placé au-dessous, et où l'on avait, la nuit précédente, cuit, avec du charbon de bois, une grande quantité de dents artificielles, cause évidente de la mort de ces dames.

Septième observation. — Les vapeurs mercurielles sortant d'un atelier de doreur ont rendu malade une

famille qui occupait un logement où se trouvait un poêle, communiquant par son tuyau avec la cheminée du doreur. C'est encore ici l'action de la cheminée des malades, qui appelait, par le tuyau de poêle, dans tout l'appartement le mercure en vapeur.

En résumé, Darcet a montré que pour des assainissements de ce genre, il faut bien choisir l'endroit où l'on prend l'air pur destiné à alimenter les cheminées d'appartement. Car si l'on ne fournit pas à ces cheminées de l'air pur en quantité suffisante, elles en prennent dans des lieux infects, comme des tuyaux de descente des lieux, des cours malsaines, des cheminées voisines, ou bien elles fumeront. La moindre ventilation, qu'elle s'opère soit par en haut soit par en bas, suffit pour assainir un appartement. On a assaini ainsi une loge d'acteur, en la faisant communiquer par un tuyau de fer-blanc de 4 cent. avec l'appel du lustre de la salle. Un calorifère placé dans la cave amenait dans la loge, de l'air chaud en hiver et frais en été.

Huitième observation — Un ouvrier en casquettes, sa femme, son enfant et une jeune ouvrière étaient tous quatre malades, avec les gencives et les lèvres fortement enflées ; la lèvre supérieure touchait au nez et la tête de la femme était enflée aussi. L'enfant était le plus malade.

Le médecin, qui crut trouver là les effets des émanations mercurielles, reconnut qu'à l'étage inférieur travaillait un doreur sur métaux qui employait beaucoup de mercure dans son travail. Darcet, le lendemain, visita les malades avec le médecin. L'enfant avait déjà perdu quatre dents. Le logement se composait d'une chambre avec fenêtre ouvrant sur une cour ; au milieu un poêle, dont le tuyau donnait dans un coffre de cheminée. L'air de la chambre était lourd et infecté par les peaux employées au travail des casquettes.

L'atelier du doreur avait des fourneaux bien faits, avec un excellent tirage. Le conduit de cheminée était celui même où donnait le tuyau de poêle. La cause de la maladie était évidente, le doreur mettait sur ses fourneaux des marchandises combinées avec le mercure. Le mercure volatilisé se condensait dans le coffre, tombait dans le tuyau de poêle, et, volatilisé de nouveau par le feu, se répandait dans la chambre, où il causait ces dangereux effets. Un morceau d'or fin frotté contre les parois du poêle s'est blanchi de suite, par la présence du mercure.

On fit démonter le poêle et boucher le trou donnant dans la cheminée du doreur.

Neuvième observation. — Un doreur sur cuivre pour broderies habitait depuis quatre ans une maison très-peuplée, avec sa femme, deux enfants, une bonne et un ouvrier ; une petite cuisine lui servait d'atelier, mais le tirage de ses fourneaux, bien construits, emportait au dehors toutes les vapeurs dangereuses. Personne n'avait été malade chez lui ni dans les étages inférieurs et supérieurs. Le logement au-dessus avait changé plusieurs fois de locataires, sans plaintes. La cheminée de l'atelier était accolée aux cheminées de la maison et perdue dans les murs. En novembre, une famille de quatre personnes occupa le logement vide, et au bout de huit jours tous étaient gravement malades.

Abondante salivation, gonflement affreux des gencives et de la bouche, l'enfant perdit plusieurs dents. Ces symptômes indiquaient l'action des vapeurs mercurielles. Mais par où arrivaient-elles dans le logement sans atteindre personne chez le doreur ? Des crevasses qui venaient de se produire laissaient passer les vapeurs mercurielles du coffre de la cheminée du doreur dans le logement, sous l'appel de la cheminée de la chambre où l'on faisait du feu à l'entrée de l'hiver.

La fermeture hermétique de ces crevasses supprima tout le mal.

Dixième observation. — *Navire infecté par le mercure.* L'exemple le plus remarquable des dangereux effets des vapeurs mercurielles est dans les accidents arrivés à l'équipage du vaisseau de ligne britannique *le Triomphe.* A la suite d'un orage qui, en 1810, avait jeté à la côte un bâtiment espagnol chargé de mercure pour les colonies, le *Triomphe* reçut à bord 130 tonneaux de mercure. La plupart des boîtes qui le contenaient furent mises dans la soute au pain, où le mercure se versa, ce qui occasionna de graves maladies à un grand nombre d'hommes de l'équipage, à des munitionnaires et à des officiers. Ulcères à la bouche, paralysie partielle du corps. Deux cents personnes furent atteintes en trois semaines. On fit promptement décharger du *Triomphe* le mercure et les munitions, même le lest, et on lava avec soin partout.

Malgré ces soins, un grand nombre d'hommes furent attaqués de nouveau de maladies, dans le retour à Cadix et en Angleterre.

Le navire ayant marché quelque temps vent en poupe, en laissant les sabords ouverts, et l'équipage se tint le plus possible sur le pont, ce qui diminua beaucoup le nombre des malades. Quelques hommes devinrent phthisiques. Un autre mourut de salivation et d'ulcères gangrenés à la bouche.

La cause de ces graves accidents est la vapeur du mercure, qui avait pénétré dans les bois, malgré les lavages répétés.

Séchage des bâtiments et des murs. — L'humidité des bâtiments neufs, ou établis dans de mauvaises conditions de salubrité, de sécheresse, ou sans caves, est une question très-importante pour la santé des personnes qui les habitent, et pour la conservation des boiseries, des peintures et des papiers de tenture. Dans des constructions faites sans que l'on ait pris des précautions suffisantes contre l'invasion de l'humidité, venant d'un sol trop humide ou pénétré de sources, ou dans des constructions occupées trop tôt, outre la destruction des papiers et peintures, la santé des habitants est rapidement compromise ; ils sont perclus de douleurs rhumatismales ou de rhumatismes aigus.

Dans les constructions publiques, pour s'assurer contre toute invasion de l'humidité venant du sol, les architectes habiles étendent, sous toute la construction, une nappe non interrompue de matière imperméable à l'eau.

C'est ainsi que M. Gilbert aîné, de l'Institut, a mis à la maison Mazas, sous toutes les parties intérieures aux murs, une couche continue de bitume de 3 centimètres, et sous les murs, une feuille de plomb reliée avec soin au bitume. Le bitume aurait été écrasé par la charge des murs.

Un bon bétonnage et l'exhaussement de la construction au-dessus du sol donnent aussi de très-bons résultats.

Darcet a trouvé un enduit hydrofuge, que nous avons donné dans le I[er] volume de ses *Mémoires*, et qui est composé de :

1 partie de cire [1] ;

3 parties huile cuite avec $\frac{1}{10}$ de son poids de litharge.

Cet enduit, appliqué à plusieurs couches et à chaud, sur les murs, les protége de la manière la plus complète contre toute pénétration de l'eau ou de l'humidité extérieure, sous condition que les murs seront séchés à fond d'avance. C'est avec cet enduit que Darcet et Thénard ont fait préparer et enduire la coupole du Panthéon pour recevoir les peintures de Gros. Jamais trace de pluie ou d'humidité n'est venue altérer depuis ces magnifiques peintures.

Drainage des ateliers. — Nous avons fait employer

[1] *Mémoires de Darcet*, 1 vol. Lacroix et Baudry.

le drainage pour assainir un grand atelier dont le sol devenait très-humide à chaque pluie.

Des fossés autour de la filature, communiquant à un puits, et un système de tuyaux de drainage, ont asséché entièrement le sol. Il vaut toujours mieux prévenir l'invasion de l'humidité pendant la construction, comme nous l'avons dit, que d'avoir à la combattre ensuite. Il ne faut pas, surtout, enfermer l'humidité sous des boiseries ou des peintures mises sur des murs neufs, et qui n'ont pas eu le temps de sécher. Les peintures et les papiers sont bien vite moisis et perdus, et exigent un remplacement complet après le premier été.

Il ne faut pas surtout habiter des maisons trop nouvellement construites, sous peine des graves dangers que nous avons signalés plus haut. Il est toujours utile, nécessaire même, de faire sécher artificiellement et profondément les murs des maisons nouvelles ou des appartements récemment distribués.

Ce séchage des murs, pour s'opérer dans des conditions rapides et économiques, doit se faire avec des dispositions et des appareils tout différents de ceux que l'on a employés jusqu'à ce jour.

Les foyers extérieurs et le ventilateur à palettes, essayés seuls jusqu'à présent par plusieurs compagnies, prennent trop de force et sèchent trop lentement, pour que cette entreprise ait pu donner de bons résultats industriels. L'auteur de cet article a combiné, avec MM. Bouillon et Muller, ingénieurs à Paris, des appareils de séchage, à foyer clos, où le ventilateur employé est le ventilateur à ailettes ou à hélice du général Sablou-koff. Ce ventilateur, qui coûte peu d'établissement, débite, avec une faible puissance mécanique, un volume considérable d'air. Il rend ainsi possible, industriellement et en pratique, le séchage des murs et des appartements, en réunissant la rapidité, la puissance et l'économie du travail.

Un appareil est préparé chez MM. Bouillon et Muller [1], à la disposition des architectes et des propriétaires qui voudront sécher et assainir rapidement, et avec toute certitude, leurs maisons ou leurs logements. Des appareils doivent aussi être expédiés aux personnes qui en demanderaient.

N° 26. Extinction des feux de cheminée.

Un rapport de Darcet sur la poudre anti-incendiaire de M. Batrau rend compte d'expériences faites pour éteindre des feux de cheminée, expériences qui ont très-bien réussi avec des feux encore peu intenses.

Darcet reconnut que cette poudre était composée, pour la majeure partie, de soufre, dont l'emploi, pour éteindre les incendies, est connu depuis 1786. Son avis fut donc que l'emploi de cette poudre ne peut pas être autorisé à Paris, ni dans les villes où les secours sont bien organisés, parce qu'il y a toujours du danger à laisser les particuliers essayer d'éteindre eux-mêmes les incendies; mais, dans les campagnes et les fermes, cette poudre doit être très-utile.

N° 27. Accidents causés par des vases culinaires en maillechort.

De la sauce hollandaise pour turbot, composée de beurre fondu, de jus de citron, de sel et de poivre, restée près d'une heure dans un vase en maillechort, avait incommodé fortement les personnes qui en avaient mangé.

Darcet, chargé d'étudier cette grave question, fit faire cinq vases :

N° 1. Un d'argent au 1er titre ou à 950 millièmes.
N° 2. Un d'argent au 2e titre ou à 800 millièmes.
N° 3. Vase en maillechort.

[1] Rue de Chabrol, 33, à Paris.

N° 4. Vase en cuivre rouge.
N° 5. Vase en cuivre jaune.

Une portion de sauce hollandaise fut répartie dans les cinq vases.

Après six heures d'expérience, la sauce commençait à se colorer en vert dans le vase en maillechort. La coloration était moins prononcée dans le vase d'argent au 2e titre, et n'était pas appréciable dans celui au 1er titre, ni dans le cuivre rouge et le jaune.

Après douze heures de séjour, l'argent au 2e titre était plus coloré que le maillechort, et le cuivre rouge commençait à se charger de sels cuivreux; l'argent à 950 n'était pas attaqué; le cuivre jaune commençait à peine à l'être.

Après vingt-quatre heures, voici l'ordre des colorations :

Argent au 2e titre, bleu vert.
Maillechort, vert-brun terne.
Cuivre rouge, vert-brun.
Cuivre jaune, vert-brun léger.
Argent au 1er titre, parfaitement blanc.

Après trente-six heures :

Cuivre rouge, vert-brun terne.
Maillechort, vert noirâtre terne.
Argent à 800 millièmes, beau vert.
Cuivre jaune, vert moins terne que le maillechort.
Argent à 950, rien.

De ces expériences, il résulte que :

1° Le maillechort n'a pas été plus fortement attaqué par la sauce hollandaise que l'argent au second titre, dont l'emploi est autorisé partout; que, de plus, le maillechort n'a été attaqué qu'après un assez long séjour, et que la teinte noirâtre qu'il prend dans ces conditions a l'avantage de prévenir de la présence des sels cuivreux et des dangers que peut présenter l'usage de la sauce à moitié altérée.

N° 28. Accidents causés par les cornichons.

De nombreux accidents sont arrivés après avoir mangé des cornichons qui ont *un beau vert*. Les analyses de ces substances alimentaires prouvent qu'ils contiennent alors de l'*acétate de cuivre* et du *tartrate double de cuivre et de potasse*, en quantité suffisante pour occasionner des indispositions, des coliques et des vomissements. Darcet a aussi étudié cette question.

On reconnaît facilement la présence du cuivre dans les cornichons en écurant bien une lame de couteau avec du sable et de la cendre, et l'engageant profondément dans le cornichon à essayer; ou trempe ensuite le cornichon et le couteau dans un verre contenant du vinaigre où étaient les cornichons. Après une demi-heure on retire le couteau, on lave bien la lame.

Si cette lame a pris la couleur rouge du cuivre, les cornichons sont vénéneux et on doit les rejeter; mais si la lame est restée brillante ou a pris seulement une couleur brune, les cornichons peuvent être employés sans aucun danger. Pour être à l'abri de tout danger, on ne doit employer que des cornichons préparés *à froid* ou avec du vinaigre qui n'a pas séjourné dans un vase de cuivre, ces cornichons n'ont pas la *belle couleur verte* des premiers et sont jaunâtres; mais leur goût est bien meilleur et ils ne sont jamais dangereux.

N° 29. Emploi des balances de cuivre.

Les bouchers et les charcutiers emploient presque toujours des balances de cuivre sur lesquelles ils mettent des rondelles de cuir verni qui s'imprègnent de graisse, pour préserver leur marchandise de l'action du cuivre, d'où résultent de la malpropreté ou des fraudes de poids; on peut autoriser ces rondelles, sous condition de les changer dès qu'elles sont sales, et de les équilibrer par un poids ajouté à l'autre plateau.

Il est bon aussi d'obliger les bouchers et les charcu-

tiars à n'employer que des balances en cuivre étamé ; cette mesure doit être appliquée à toutes les denrees dont la salubrité peut être altérée par le contact du cuivre. Quant aux fraudes de poids, c'est évidemment aux acheteurs à s'en defendre, ce qui est toujours facile. (Darcet.)

N° 30. CURAGE DES ÉGOUTS.

En avril 1842, cinq ouvriers périrent asphyxiés lors du curage de l'égout de la Villette. Cette opération dangereuse ayant dû être reprise et complétée par les égoutiers de Paris, Darcet et Labarraque furent chargés par le conseil de salubrité de suivre ce travail. Les mesures da précantion qui furent indiquées d'avance par eux, étaient : 1° de ne faira cette opération qu'en hiver et la nuit, au lieu da la faire pendant les chaleurs da l'été ;

2° D'installer sur place et sons une tente un jeune pharmacien instruit et ayant une pharmacie de voyage, et tout ca qui pourrait être utile en cas d'accidents ;

3° Le lavaga et la désinfection la plus complète possible de l'égout, qui doivent toujours aussi précéder un curaga dangereux, aujourd'hui surtout qua les matières désinfectantes sont si abondantes et à si bon marché.

PH. GROUVELLE.

J

JAUGEAGE. Nous compléterons ce que nous avons dit à l'article HYDRAULIQUE, relativement au jaugeage de l'eau fournie par des distributions d'eau, en donnant un compteur heureusement combiné et qui, construit par MM. Breguet et Cie comme on sait le faire dans cette maison, donne les meilleurs résultats

Combiner un compteur à eau qui pût se placer partout comme le compteur à gaz, qui fût propre à contrôler les consommations grandes et petites, et cela presque sans entretien, était un problème difficile à résoudre et qui cependant devait précéder l'établissemant de grandes distributions d'eau dans les principales villes de France, que réclament les besoins de la salubrité.

Nous donnerons une idée claire du système inventé par MM. Loup et Koch, en disant qu'ils ont combiné une turbine légère, plongée dans le tuyau, munie d'un indicateur magnétique pour enregistrer la nombre de tours, après avoir préalablement diminué una vitesse trop granda pour l'action magnétique. C'est le seul moyen de supprimer les ajustements susceptibles de laisser passer l'eau au dehors, c'est-à-dire en faisant disparaître la cause principala d'altération et de résistances variables.

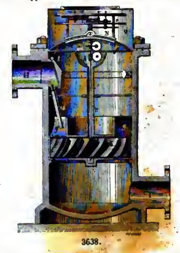
Nous en empruntons la description à une publication des inventeurs (fig. 3638).

L'appareil se compose, comme pièce essentielle, d'une turbina K, ou roua à ailettes, mise, par le passage da l'eau, en mouvement d'autant plus rapide que la quantité d'eau est plus grande, qualle que soit, du reste, la pression, puisque l'eau est incompressible.

Une roue à directrice fixe est placée au-dessus de celle mobile ; ses ailes sont disposées à peu près perpendiculairement à celles de la première roue, dans le but d'augmenter l'action de l'eau sur cette turbine.

Grâce à la simplicité da cet appareil, la perte de charge qu'il occasionne dans les tuyaux est très-petite, beaucoup moindre que dans les autres compteurs imaginés jusqu'à ce jour ; elle a été reconnue inférieure à 2 mètres sur 40 de pression.

Pour que l'instrument tienne compte d'écoulements d'eau presque nuls, on a disposé à l'orifice d'arrivée *H* une soupapa *t*, qu'on a chargée de plomb et qui ne s'ouvre que sous l'effort d'une quantité d'eau assez notable; sur le tuyau qui porte cette soupape est soudé un petit tube de cuivre *u*, qui descend entre les directrices supérieures jusqu'aux ailettes da la turbine, et par lequel l'eau s'écoula quand elle ne suffit pas à ouvrir la soupape ; dans ces conditions, cette petite quantité d'eau n'agissant que sur une seule directrice de la turbine, lui communique un mouvement sensible. Grâce à cette disposition, un écoulement d'un litre par minute est apprécié, mais compté d'une manière exagérée ; elle a été imaginée pour empêcher la fraude que pourraient commettre les abonnés en produisant un écoulement constant, trop faible pour mettre l'appareil en mouvement. De cette manière,



3638.

l'abonné, qui peut toujours ouvrir son robinet assez pour que la mesurage se fasse exactement, n'est jamais frustré, et la compagnie est garentie contre la mauvaise foi des particuliers par une espèce da compensation, qui serait à son profit entre les écoulements faibles trop comptés, et ceux qui ne le seraient pas.

Il reste à expliquer comment se mesure le nombre des tours de la turbine que nous venons de décrire. Le compteur proprement dit est placé dans une chambre supérieure O, qui ne communique par aucune ouverture à la chambre inférieure, de telle façon qu'il n'y a aucun danger que l'eau vienne rouiller les rouages du compteur et en empêcher les fonctions. Le mouvement de la turbine est transmis par l'intermédiaire da deux vis sans fin, et de deux roues, à un aimant M (argenté pour éviter la rouille), qui tourne autour de l'axe de l'instrument, au-dessous de la cloison *f* de cuivre, qui sépare les deux chambres du compteur. Un second aimant N, placé juste au-dessus du premier, mais dans la chambre supérieure, est en-

traîné par son mouvement, et le communique aux rouages du compteur, qui portent quatre aiguilles marquant sur leurs cadrans respectifs des unités, dizaines, centaines et mille.

Ou comprend qu'un appareil de ce genre a besoin d'être étalonné; cependant, l'unité mesurée pour un instrument, se trouve très-sensiblement la même pour tous ceux de même dimension fabriqués en même temps.

Des expériences faites à la pompe à feu de Chaillot, sous les yeux de M. Baude, inspecteur général des ponts et chaussés, ont donné les résultats suivants, que nous extrayons de son rapport à la Société d'encouragement.

Sous une certaine pression, un écoulement de 278 litres a produit 13 unités du compteur, soit 21 litres 385 par unité; il passait environ 5 litres 36 par seconde; sous une pression differente, 280 litres ont donné 13 unités, soit 21 livres 247 par unité; il passait 0l,809 par seconde.

La compagnie générale des eaux a installé un nombre assez grand de ces appareils pour le service de Lyon, et les résultats qu'ils ont donnés ent satisfait pleinement. Il a été construit, jusqu'ici, deux modèles. Le premier a un orifice de sortie de 20 millimètres de diamètre; il débite, sous quatre atmosphères de pression, environ 400 litres par minute; le second a un orifice de 40 millimètres de diamètre; il débite 400 litres par minute, sous la pression de 4 atmosphères.

L

LIÉGE. On a remarqué, à l'Exposition de 1855, la fabrication des bouchons à la mécanique, établie à Marseille par M. Duprat. Cette fabrication s'accomplit à l'aide de trois machines : une *coupeuse*, une *perceuse* et une *toureuse*.

La première, simple couteau circulaire, ne sert qu'à diviser les planches de liége en bandes de largeur égale à la longueur des bouchons à fabriquer. Au lieu de diviser encore ces bandes en petits parallélipipèdes de base à peu près carrée, ainsi que cela se faisait dans le travail à la main, M. Duprat évite les déchets inévitables de ce procédé, en découpant la bande en bouchons cylindriques au moyen de sa machine *perceuse*. Celle-ci consiste en un châssis vertical portant une série de huit emporte-pièces cylindriques de diamètres différents, et animés d'un mouvement rapide de rotation; l'épaisseur de la bande de liége, variant d'une manière irrégulière d'un point à l'autre de sa longueur, l'ouvrier peut ainsi choisir, pour chaque bouchon qu'il va couper, un emporte-pièce de grandeur convenable.

La troisième machine, la *tourneuse*, enlève sur toute la surface courbe du bouchon une pellicule d'épaisseur décroissante d'un bout à l'autre, et lui donne la figure conique tout en rendant sa surface plus unie et comme glacée. Cette machine est alimentée par une chaîne sans fin, sur laquelle les cylindres de liége sont posés à la main; chaque bouchon est ainsi conduit entre deux griffes qui le saisissent par ses deux bases et l'entraînent dans leur mouvement de rotation, tandis qu'un couteau à tranchant horizontal glisse en coupant le bouchon suivant une direction inclinée à son axe. A cette opération, que l'on nomme le *tourne*, en succède une dernière qui ne s'exécute cependant que pour les bouchons qui présentent des défauts sur quelques points de leur surface : cette opération, la *retouche*, consiste à enlever une petite couche de liége dans le seul endroit défectueux; elle s'exécute par la même machine *tourneuse* en plaçant le bouchon de manière qu'il se trouve saisi excentriquement entre les griffes. Les opérations de la tourne et de la retouche pour les petits bouchons, dits *topettes*, s'exécutent sur une machine spéciale, qui diffère à quelques égards de celle employée pour les gros bouchons.

LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES. Nous donnerons ici une table des longueurs des principales lignes trigonométriques, c'est-à-dire des sinus et des tangentes (et des cosinus et cotangentes des angles complémentaires) dont on peut avoir souvent besoin. Le rayon de la table est 10000000.

Degrés.	SINUS.	TANGENTES.	Degrés.	SINUS.	TANGENTES.
0	0	0	90	10000000	infinie.
1	174524	174551	89	9998477	572899620
2	348995	349208	38	9993908	286362530
3	523360	524078	87	9986295	190811370
4	697565	699268	86	9975640	143006660
5	871557	874887	85	9961947	114300520
6	1045285	1051042	84	9945218	95143645
7	1218693	1227846	83	9925462	81443464
8	1391731	1405408	82	9902680	71153697
9	1564345	1583844	81	9876883	63137515
10	1736482	1763270	80	9848077	56712818
11	1908090	1943803	79	9816271	51445540
12	2079117	2125565	78	9781476	47046301
13	2249511	2308682	77	9743701	43314759
14	2419219	2493280	76	9702957	40107809
15	2588190	2679492	75	9659258	37320508
16	2756374	2867454	74	9612617	34874144
17	2923717	3057307	73	9563048	32708526
18	3090170	3249197	72	9510565	30776835
19	3255682	3443276	71	9455185	29042109
20	3420202	3639702	70	9396926	27474774
21	3583679	3838640	69	9335804	26050891
22	3746066	4040262	68	9271839	24750869
23	3907311	4244749	67	9205049	23558524
24	4067366	4452287	66	9135454	22460368
25	4226183	4663077	65	9063078	21445069
26	4383712	4877326	64	8987940	20503038
27	4539905	5095254	63	8910065	19626105
28	4694716	5317094	62	8829476	18807265
29	4848096	5543090	61	8746197	18040478
30	5000000	5773503	60	8660254	17320508
31	3150381	6008606	59	8571673	16642795
32	5299193	6248694	58	8480481	16003345
33	5446390	6494076	57	8386706	15398650
34	5591929	6745085	56	8290376	14825610
35	5735764	7002075	55	8181521	14281480
36	5877853	7265426	54	8090170	13763819
37	6018150	7535540	53	7986355	13270448
38	6156615	7812856	52	7880107	12799416
39	6293204	8097840	51	7771460	12348972
40	6427878	8390996	50	7660444	11917536
41	6560590	8692868	49	7547096	11503684
42	6691306	9004044	48	7431448	11106125
43	6819984	9325151	47	7313537	10723687
44	6946584	9656888	46	7193398	10355303
45	7071068	10000000	45	7071068	10000000

LIQUÉFACTION ET SOLIDIFICATION DES GAZ.

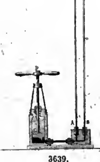
L'étude de la liquéfaction des gaz, la connaissance de la possibilité de convertir un gaz donné en un liquide, est intéressante au point de vue théorique comme au point de vue pratique. Connaître la puissance des ressorts moléculaires formés par les molécules gazeuses qui s'opposent aux actions de compressibilité, mesurer le travail total nécessaire pour produire la liquéfaction, c'est déterminer la valeur mécanique d'un gaz; c'est obtenir un chiffre qui a la même valeur que le coefficient d'élasticité d'un corps solide. La mesure de ces éléments est malheureusement très-difficile dans la plupart des cas, et les quelques expériences que l'on possède sont en général trop imparfaites, quant à la précision des observations, pour qu'on en déduise les conséquences théoriques importantes qu'on en pourrait retirer.

Au point de vue pratique, le changement d'état des gaz a surtout fourni le moyen de produire des froids très-intenses, comme nous le verrons en expliquant le moyen d'appliquer ces froids à la liquéfaction d'autres gaz. Nul doute que d'autres intéressantes applications ne se rencontrent quelque jour, la réduction d'un gaz à l'état liquide ou solide pouvant être considérée comme un emmagasinement de travail, facilement utilisable, sous un faible volume.

Procédé mécanique. — L'emploi de pompes de compression pour liquéfier les gaz, comme pour les réduire à un moindre volume sans causer de changement d'état, est le procédé qui vient le premier à l'esprit; son application présente, toutefois, beaucoup de difficultés quand les pressions s'élèvent, la quantité de gaz qui demeure dans les espaces nuisibles devenant suffisante pour empêcher le jeu des soupapes. On remédie à cette difficulté, dans les expériences de physique, en employant le mercure comme intermédiaire pour la compression, et le refoulant au lieu de gaz.

Nous donnons ici la disposition employée par M. Pouillet (fig. 3639).

Il renferme dans un tube cylindrique le gaz à comprimer, et dans un antre, voisin, l'air destiné à donner la mesure de la pression. Le bas de ces tubes est assemblé à vis, dans une caisse pleine de mercure, communiquant avec une autre caisse pleine du même liquide, dans lequel se trouve un piston plongeur. La partie supérieure de ce piston est une vis qui passe dans la partie supérieure de la caisse, taillée en écrou; de la sorte, il est facile de faire descendre le plongeur, et de produire à la main des pressions très-considérables.



3639.

Voici les résultats obtenus par ce savant.

La compression, poussée jusqu'à 100 atmosphères, n'a eu aucun effet sur l'oxygène, l'hydrogène, l'azote le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone. Ils se sont comprimés à peu près comme l'air atmosphérique. Les gaz hydrogène protocarboné et bicarboné ne se sont pas liquéfiés non plus; ils sont sensiblement plus compressibles que l'acide carbonique. Nous verrons plus loin que M. Faraday est parvenu à liquéfier le second par le froid.

2° L'acide carbonique s'est liquéfié à 45 atmosphères, la température étant de 10°; le protoxyde d'azote s'est liquéfié à 43 atmosphères, la température étant de 11°; l'ammoniaque s'est liquéfiée sous une pression de 5 atmosphères à 10°, et le gaz sulfureux à 8° sous une pression de 25 atmosphères. Ces gaz sont notablement plus compressibles que l'air dès que leur volume est réduit au tiers ou au quart, et cet effet va en croissant à mesure qu'on se rapproche du point de liquéfaction.

Calcul du travail. — On peut se demander de calculer le travail nécessaire pour produire la liquéfaction d'un gaz, et ce calcul serait assez simple si sa compression suivait la loi de Mariotte. Nous le donnerons ici ainsi fait, comme approximation assez grande pour le moins.

Soit P la pression d'un gaz en un instant quelconque, V son volume, le travail qui sera nécessaire depuis la pression atmosphérique P_0 et le volume V_0 jusqu'à la pression P_1 et au volume V_1, correspondant au point où les forces élastiques sont annulées, où la liquéfaction commence, sera donné, en admettant comme approximation très-grande la loi de Mariotte, par l'intégrale $\int_{V_0}^{V_1} P dv$, dans laquelle on peut remplacer P la pression en chaque instant, qui correspond à l'accroissement élémentaire de volume dv pendant lequel elle peut être considérée comme constante (ce qui donne la différentielle Pdv du travail) par la valeur $P = \frac{P_0 V_0}{V}$, d'où $P_0 V_0 \int_{V_0}^{V_1} \frac{dv}{V} = P_0 V_0 \text{ Log. hyp. } \frac{V_0}{V_1}$ pour le travail.

A ce travail il faut ajouter :

1° Celui nécessaire pour achever la liquéfaction du gaz, qui reste toujours à la pression P_1 pendant qu'il continue de se transformer en liquide. Le volume du liquide produit étant très-petit par rapport à celui du gaz, ce travail sera très-voisin de $P_1 V_1 = P_0 V_0$. Plus exactement on devrait remplacer V_1, D étant la densité du liquide formé, d celui du gaz qui commence à se liquéfier, par $V_1 (1 - \frac{d}{D})$, $\frac{d}{D}$ étant, en général, petit, mais pas toujours négligeable. Le travail total de la liquéfaction de 1 litre de gaz sera donc donné par la formule $103.30 \times \frac{1}{1000} (1 + \text{Log. hyp. } \frac{V_1}{V_0})$, à partir de la pression atmosphérique jusqu'au point de liquéfaction.

2° Le travail de compression du gaz dû à la pression atmosphérique, déjà effectué avant toute autre compression, qui correspond à la consommation d'une quantité de travail intérieur, nécessaire pour le soulèvement de la colonne atmosphérique, par exemple, à une quantité de chaleur équivalente lorsque la gazéification se produit par l'échauffement à l'aide d'une quantité égale à la chaleur latente, communiquée au liquide. Ce travail est égal pour 1 lit. à 10,33 kilog. mèt. qui devra être ajouté aux nombres trouvés en appliquant la formule ci-dessus.

Voici les chiffres trouvés par un semblable calcul pour un litre des principaux gaz dont le point de liquéfaction est connu.

	Km.
Gaz oléfiant	58,88
Acide carbonique	57,33
Protoxyde d'azote	55,83
Acide chlorhydrique	53,13
Gaz sulfhydrique	44,00
Hydrogène arseniqué	42,73
Ammoniaque	37,15
Acide sulfureux	33,78

Nous donnons plus loin les chiffres déterminés expérimentalement des valeurs $\frac{V_1}{V}$ ou $\frac{P}{P_1}$ correspondant aux points de liquéfaction des divers gaz qui ont servi à obtenir les nombres ci-dessus.

Compression et refroidissement par procédé chimique. — On doit à M. Faraday un procédé de liquéfaction du gaz, différent de celui entièrement mécanique décrit plus haut.

Il consiste à renfermer dans un tube de verre épais, fermé à la lampe, des substances qui, par leurs réactions chimiques dégagent abondamment le gaz sur lequel on veut expérimenter. C'est le gaz qui se comprime lui-même à mesure qu'il se dégage, et l'on peut aisément produire ainsi des pressions de 40 à 50 atmosphères (sauf les cas où la réaction chimique s'arrête sous une pression moindre; ainsi on sait que le dégagement de l'hydrogène préparé par le zinc et l'acide sulfurique s'arrête sous une pression de 25 à 30 atmosphères). De plus, on peut refroidir l'extrémité du tube en la plongeant dans un mélange réfrigérant.

M. Faraday a obtenu ainsi, dans une première série d'expériences déjà anciennes, les chiffres suivants, qui ne peuvent être considérés que comme de premières approximations.

Tableau de liquéfaction du gaz.

Gaz liquéfiés.	Température en degrés centigr.	Tensions des liquides en atmosphères.
Acide sulfureux	+ 7	2
Cyanogène	+ 7	3,6
Chlore	+ 15,5	4
Ammoniaque	0	5
Idem	+ 10	6,5
Hydrogène sulfuré	− 16	14
Idem	+ 10	17
Acide muriatique	− 16	20
Idem	− 4	25
Idem	+ 10	40
Acide carbonique	− 11	20
Idem	0	36
Oxyde nitreux	0	44
Idem	+ 7	51

Le procédé Faraday frappa vivement un ingénieux inventeur, M. Thilorier, qui avait, sans grands résultats pratiques, presque épuisé les combinaisons possibles des pompes de compression. Disposer l'appareil de manière à pouvoir agir sur des quantités de gaz un peu considérables et accumuler le liquide obtenu par des opérations successives, tel est le but qu'il s'était proposé d'atteindre. Les résultats obtenus ont dépassé toutes ses espérances, et, appliqué à l'acide carbonique, son appareil fournit si facilement de grandes quantités d'acide liquide et même solide, qu'on peut aujourd'hui considérer ce puissant agent comme acquis pour de nouveaux progrès de la science et de l'industrie.

J'emprunterai la description de son appareil et de la manière de conduire l'expérience à l'excellent *Traité de chimie* de M. Regnault.

L'appareil se compose de deux parties :

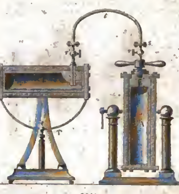
1° *Le générateur*, dans lequel on produit l'acide carbonique liquide ;

2° *Le récipient*, dans lequel on fait passer l'acide carbonique par voie de distillation, de manière à le séparer des autres produits de la réaction, et dans lequel on accumule ainsi les produits de plusieurs opérations successives.

L'acide carbonique liquide s'obtient en décomposant le bicarbonate de soude par l'acide sulfurique dans le générateur, qui est un vase hermétiquement fermé. Les premières parties d'acide carbonique dégagées prennent l'état gazeux, mais bientôt la pression devient assez considérable pour que l'acide carbonique se liquéfie.

Le générateur de Thilorier consistait en un cylindre de fonte de fer très-épais. Mais la fonte est un métal dangereux à employer pour les pièces qui ont besoin d'une grande résistance : un accident terrible, produit par l'explosion d'un de ces cylindres, en a fait proscrire l'emploi.

Le générateur, tel qu'on le construit actuellement, est une chaudière cylindrique en plomb (fig. 3640), re-



3640.

couverte de cuivre rouge et renforcée par des cercles et par des barres de fer forgé. La capacité de cette chaudière est de 6 à 7 litres. Le cylindre de cuivre qui enveloppe le vase en plomb lui est exactement appliqué dans toutes ses parties. Les deux fonds sont renforcés par des plaques de fer reliées entre elles par des barres de ce métal.

Le générateur est suspendu entre les deux pointes d'un support en fonte.

La construction du récipient est semblable à celle du générateur.

L'ouverture du générateur A est fermée par un bouchon à vis, percé suivant son axe et muni d'un robinet *r*. On manœuvre ce bouchon à l'aide d'un double manche. Un anneau de plomb se trouve comprimé dans une double gorge qui existe sur le générateur et sur le bouchon, et rend la fermeture hermétique.

Le récipient B porte de même une ouverture sur son arête supérieure ; on engage dans cette ouverture un tube de cuivre qui descend presque jusqu'au fond du récipient, et qui porte en dehors un robinet *r'*.

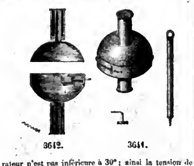
On peut établir la communication entre le récipient et le générateur au moyen d'un tube de cuivre *st* qui se fixe à l'aide de deux brides et d'un joint au minium sous les tubulures *s* et *x*.

Pour faire une préparation d'acide carbonique liquide, on enlève le bouchon et l'on introduit dans le générateur 1800 grammes de bicarbonate de soude,

4 demi-litres d'eau à 35 ou 40° et un vase cylindrique (fig. 3641) en cuivre contenant 1000 grammes d'acide sulfurique concentré. Ce cylindre vient se placer dans l'axe du générateur, et tant qu'il reste vertical, l'acide sulfurique n'arrive pas en contact avec le bicarbonate de soude.

On remet le bouchon en place, le robinet *r* étant fermé. En inclinant le générateur jusqu'à lui faire dépasser l'horizontale, on fait couler l'acide sulfurique renfermé dans le tube de cuivre, la réaction commence aussitôt. On fait osciller un certain nombre de fois le générateur autour de son axe pour mélanger les matières.

Au bout de dix minutes, on peut faire passer l'acide carbonique dans le récipient. Pour cela, on établit la communication entre le générateur et le récipient, au moyen du tube en cuivre *s t*, on ouvre les robinets *r* et *r'*, l'acide carbonique du générateur distille immédiatement, et vient se condenser de nouveau à l'état liquide dans le récipient. Cette distillation a lieu, en vertu de la différence de température qui existe entre le générateur et le récipient. La température du générateur n'est pas inférieure à 30°; ainsi la tension de l'acide carbonique y est d'environ 75 atmosphères. Si le récipient présente la température de 15°, que je supposerai être celle du laboratoire, la tension maximum de l'acide carbonique n'étant pour cette température que de 50 atmosphères, la distillation devra avoir lieu en raison de la différence de pression 75—50=25 atmosphères, c'est-à-dire qu'elle sera extrêmement rapide. Il suffit, en effet, de moins d'une minute pour faire passer l'acide carbonique du générateur dans le récipient.



3642. 3641.

On procède alors à une nouvelle préparation d'acide carbonique, et l'on fait passer cette seconde portion dans le récipient. On recommence ces opérations cinq ou six fois, de façon à accumuler dans le récipient environ 2 litres d'acide carbonique liquide. Il est alors rempli, aux deux tiers, d'acide carbonique liquide, qui se trouve surmonté d'une atmosphère gazeuse, exerçant une pression de 50 atmosphères, si la température du laboratoire est de 15°. Il est clair que si l'on ouvre le robinet *r'* du récipient, l'acide carbonique liquide sera projeté avec force hors du vase. Mais si ce liquide est lancé dans l'air extérieur, il prendra immédiatement l'état gazeux, en produisant un nuage blanc sur son passage. Il régnera nécessairement, dans ce courant gazeux, un froid considérable. Si l'on dirige le jet d'acide carbonique liquide dans une boîte métallique très-mince, ou mieux dans deux coquilles pouvant se réunir momentanément (fig. 3642), une grande partie de l'acide carbonique se volatilise, en prenant la chaleur nécessaire pour le changement d'état aux parois du vase et à la partie d'acide carbonique restée liquide; la température s'abaisse alors au-dessous de 70°; l'acide carbonique devient solide et se condense sous la forme d'une neige blanche cotonneuse. L'acide carbonique peut être conservé sans cette forme beaucoup plus longtemps qu'à l'état liquide. L'évaporation de cet acide neigeux est très-lente, à cause de la mauvaise conductibilité de la matière. Un flocon d'acide carbonique neigeux peut être placé sur la main, sans que l'on éprouve une sensation de froid très-considérable, parce que l'acide solide est constamment isolé de la main par un courant gazeux, qui se dégage continuellement et empêche le contact; mais, si l'on vient à comprimer le flocon entre ses doigts, on éprouve une sensation douloureuse, semblable à celle que produit un corps chaud, et la peau est désorganisée, comme elle le serait par une brûlure.

Si l'on verse sur l'acide carbonique un liquide qui ne se combine pas chimiquement avec cet acide, et qui ne se congèle pas à une très-basse température, l'évaporation de l'acide carbonique devient beaucoup plus rapide, parce que le liquide interposé augmente considérablement la conductibilité, et on obtient un mélange réfrigérant extrêmement énergique.

C'est l'emploi d'une pâte d'éther et d'acide carbonique solide, qui a permis à M. Faraday de reprendre avec un plus puissant moyen d'action ses expériences de liquéfaction et de solidification des gaz. Il a d'abord déterminé les températures qu'il obtenait à l'aide de cette pâte placée sous la cloche d'une bonne machine pneumatique, de manière à activer l'évaporation, en faisant fonctionner la machine. Il a obtenu, pour des pressions sous la cloche, en centimètres de mercure de

72,4 49,3 23,9 18,8 13,7 8,6 6,4 3,5 3,0

les températures de

—77°, —80, —85, —87°, —91, —95, —99, —107, —110

En refroidissant le gaz comprimé, au besoin, à l'aide d'une pompe de compression, dans des tubes de verre plongés dans ce mélange réfrigérant, il est parvenu à une température de — 80°, et sous une pression inférieure à une atmosphère, à obtenir, à l'état liquide ou solide, les gaz ci-après :

Chlore, cyanogène, ammoniaque, acide sulfhydrique, hydrogène arseniqué, acide iodhydrique, acide bromhydrique, acide carbonique.

Pour les gaz qui ont pu être solidifiés, M. Faraday a déterminé les points de fusion des solides formés, qui sont :

Cyanogène	—25°	Acide sulfureux . .	— 76°
Acide iodhydrique. .	—51°	Acide sulfhydrique.	— 86°
Acide carbonique . .	—51°	Acide bromhydriq.	— 88°
Oxyde de chlore. . .	—60°	Protoxyde d'azote. .	—100°
Ammoniaque	—75°		

Les six gaz suivants n'ont pu être solidifiés, même à —110° :

Gaz oléfiant, acide fluosilicique, hydrogène protophosphoré, acide fluoborique, acide chlorhydrique, hydrogène arseniqué.

Les cinq gaz ci-après n'ont donné aucun signe de liquéfaction, même en les maintenant à la température de 110°, et à la pression de 27 atmosphères pour les deux premiers, de 40 pour le troisième, de 50 pour les deux derniers :

Hydrogène, oxygène, oxyde de carbone, azote, bioxyde d'azote.

Enfin, on a résumé, dans le tableau suivant, la marche des températures et des pressions en atmosphères pour les principaux gaz liquéfiés, avec une approximation assez minime, la pression étant mesurée par un petit manomètre renfermé dans le tube en verre dans lequel se faisait la liquéfaction du gaz.

Températures.	Gaz oléfiant.	Acide carbonique.	Protoxyde d'azote.	Gaz chlorhydrique.	sulfhydrique.	Hydrogène arsenique.
—87°,2	»	»	1,0	»	»	»
78°,9	»	1,2	1,4	»	»	»
73°,3	9,3	1,8	1,8	1,8	1,0	»
59°,4	»	4,6	3.6	»	»	0,9
51°,1	13,9	7,1	5,4	5,1	1,9	1,4
40°,0	17,0	11,1	8,7	7,7	2,9	2,3
28°,9	21,2	16,3	13,3	10,9	4,2	3,5
17°,8	27,2	22,2	19,3	15,0	6,1	5,2
6°,7	36,8	30,7	26,8	21,1	8,4	7,4
+ 1°,1	42,5	37,2	31,1	25,3	9,9	8,7
+ 2°,4	»	»	»	30,7	11,8	10,0

Ce tableau peut permettre de ramener approximativement à zéro le travail de compression déterminé ci-dessus, en donnant, par interpolation, la pression qui répond à cette température.

Cela est toujours possible fictivement ; mais non pas réellement dans tous les cas. C'est là une observation intéressante qu'il importe de faire pour ne pas tirer des conclusions erronées des résultats négatifs obtenus par M. Faraday, pour quelques gaz simples, tels que l'hydrogène et l'oxygène, qu'il avait espéré liquéfier.

On sait que M. Cagniard-Latour a montré qu'à une certaine température, et à une pression suffisante, un liquide se changeait en un gaz transparent, sans changer de volume. C'est, par exemple, ce qui arrive pour l'eau qui remplit un tube fermé, à peu près à la température de la fusion du zinc. A cette température et pour une pression correspondante de 115 à 120 atmosphères, il n'y a, pour ainsi dire, plus de différence entre le gaz et le liquide : il n'est pas vraisemblable qu'aucune augmentation de pression, à moins qu'elle ne soit énorme, puisse liquéfier le gaz.

Si donc la température de —110° est, pour l'hydrogène, au-dessus de ce point de transformation, il ne résulte nullement de ce qu'on n'a pu le liquéfier, qu'il eût fallu, pour cela, un travail très-considérable; il faudrait seulement, pour lui faire quitter l'état gazeux, un froid encore plus intense que celui qu'on a pu produire jusqu'ici.

L'éther changeant d'état sous un même volume, avant que sa vapeur ait atteint la tension de 38 atmosphères, il est plus que probable que les gaz qui résistent à une pression de 27 à 50 atmosphères, à une température de —110°, ne peuvent être liquéfiés par pression seulement, ne peuvent perdre leur état gazeux à la température ordinaire.

LISAGE. Le tissage mécanique des étoffes brochées, l'emploi du métier à la Jacquart et de ses cartons, supposent préalablement exécutée l'opération du lisage, c'est-à-dire du percement des cartons en raison de la nature du dessin, chaque trou correspondant au passage d'un fil coloré de la trame sur un fil de la chaîne. Ce lisage fait à la main, soit à l'aide de poinçons, soit mieux à l'aide de machines à touches à l'aide desquelles on peut lire le dessin tracé sur papier quadrillé, tend, grâce à une ingénieuse invention, à être rendu automatique à l'aide de l'électricité. Ce n'est pas précisément sous cette forme que se présente l'invention que j'ai en vue, c'est sous celle, évidemment équivalente, de la suppression du lisage dans la modification du métier Jacquart, connu sous le nom de métier électrique, de l'invention de M. Bonelli, directeur des télégraphes sardes.

Le dessin étant reporté sur une feuille d'étain, tracé, par exemple, à l'aide d'un vernis non conducteur il suffit de tracer une ligne avec un traçoir métallique mis en communication par de bons conducteurs avec les systèmes qui servent à mouvoir successivement chaque fil correspondant à la place qu'il occupe, pour qu'à chaque interruption du courant, c'est-à-dire à chaque point du dessin, un fil soit levé, pour que les poids que combattent habituellement les électro-aimants qui maintiennent chaque fil, agissant lors de l'absence de courant, mettent en jeu, comme le ferait un trou du cylindre de le Jacquart, un fil de chaîne.

Cet emploi de l'action presque intelligente de l'électricité semble avoir un grand avenir, et l'on comprend qu'elle ait séduit l'habile constructeur, M. Froment, qui emploie tous ses soins à la rendre entièrement pratique.

LOCH. L'appareil usité vulgairement pour mesurer le sillage d'un navire se compose de trois parties principales : le bateau de loch, la ligne de loch et le tour de loch.

Le bateau de loch est un secteur en bois dont le rayon a seulement quelques pouces et dont l'arc est plombé, en sorte que dans l'eau il prend, si on l'abandonne à lui-même, une position verticale.

Si maintenant on imagine chacun des angles traversé, de part en part, par un brin de fil ou une ficelle de 1 mètre environ de longueur, et qu'on se figure tenir à la main les extrémités réunies de ce fil, on aura l'image exacte du bateau de loch, au moment où le timonier va le lancer par-dessus le bord.

On appelle ligne, en termes de marine, un petit cordage attaché par un de ses bouts aux extrémités réunies des trois fils dont nous parlions tout à l'heure; elle est fixée par l'autre bout à une sorte de dévidoir fort simple, sur lequel elle s'enroule comme un peloton de soie sur sa bobine. C'est ce dévidoir qui se nomme *tour de loch*.

Deux choses sont à remarquer sur la ligne : la houache et les nœuds.

La houache est un morceau d'étamine habituellement rouge; il est attaché sur la ligne à une distance du bateau de loch égale à la longueur du navire.

Les nœuds sont d'ordinaire de petites lanières de cuir de 5 centimètres ou un peu plus, épissées sur la ligne; elles marquent ses divisions. D'un nœud à l'autre, — le premier est à la houache, — il y a, en théorie, la 120me partie d'un mille marin, c'est-à-dire 15 mètres 42 centimètres ; mais, en fait on ne met entre les nœuds que 15m,40, ou même 14m,77 : cela, d'un côté, parce qu'à l'usage la ligne s'allonge toujours très-sensiblement, et, d'un autre côté, parce qu'il est moins dangereux, quand on mesure sa course, surtout à l'approche d'un atterrissage ou d'un récif, de se croire en avant qu'en arrière.

Ces dispositions données, décrivons, s'il est possible, l'opération de *jeter le loch* ou de mesurer le sillage : nous supposerons que le navire fait prompte route.

Au commandement : *Au loch !* — ce commandement se répète, règle générale, de demi-heure en demi-heure; — un timonier et deux matelots désignés d'avance passent à l'arrière, sur la dunette. De ces trois hommes, l'un, le timonier, prend d'une main le bateau de loch, de l'autre main un long bout de la ligne roulé ; le second, un vigoureux matelot, saisit le tour par les deux bouts de l'axe sur lequel il tourne et l'élève au-dessus de sa tête; la troisième, enfin, s'empare d'un sablier-horloge,—deux ampoulettes de verre, comme on sait, qui, au centre de trois légers montants en bois, se touchent par le sommet et versent l'une dans l'autre le sable qu'elles contiennent par un petit trou pratiqué à cette fin dans la plaque de métal qui les sépare. Il y a à bord des sabliers ou ampoulettes de différentes durées : les plus communes se vident en

une demi-minute, c'est-à-dire dans la 120e partie d'une heure.

En jetant le bateau du loch par-dessus la rampe de la dunette, le timonier commande : *Attention ! — Attention !* répète le matelot au sablier. On laisse courir le navire, perdant la ligne de loch jusqu'à ce que la houache, lambeau très-visible, passe précisément sur la rampe. A cet instant : *Tourne !* dit le timonier, et le matelot répète *Tourne !* renversant en effet son ampoulette, le côté plein sur le côté vide. Il la maintient ainsi, il la surveille jusqu'à l'instant où le dernier grain de sable passe de l'ampoulette supérieure à l'ampoulette inférieure. *Stop !* crie-t-il alors, et brusquement le timonier arrête la ligne de loch. Le matelot, qui roidissait avec effort ses bras contre les secousses violentes et saccadées imprimées au tour par la ligne dans son mouvement de fuite, abaisse le tour, et tous trois constatent combien de nœuds de la ligne ont passé sur la rampe de la dunette depuis la houache. Supposons qu'il y en a dix : le navire file dix nœuds ; c'est-à-dire qu'en une demi-minute, durée du sablier, il parcourt, approximativement, dix fois la 120e partie d'un mille marin de 1852 mètres ; qu'en une heure, par conséquent, il parcourt dix fois le mille marin tout entier, ou 18,5 kilomètres.

Notre excellent et si regrettable ami, Vincendon-Dumoulin, le compagnon de Dumont d'Urville, et l'un des hommes qui ont donné la plus heureuse impulsion aux travaux hydrographiques et à la science nautique dans ces dernières années, a fait observer, dans l'article NAVIGATION, dont il a enrichi cet ouvrage, les avantages que l'on trouverait à employer des instruments plus précis que le loch ordinaire, qui ne fournit qu'une approximation grossière, et en quoi consistaient les meilleurs systèmes adoptés. Toutefois, comme l'extrême simplicité et le bon marché de l'ancien loch le fera toujours conserver dans le plus grand nombre de cas, on doit accueillir avec intérêt les perfectionnements qu'on pourra lui apporter.

Tel est l'instrument proposé par M. Pecoul, qui est disposé pour donner des résultats très-précieux dans certaines circonstances de navigation.

Ce loch, dit loch-sondeur, consiste en une petite bouée en cuivre, capable de supporter un plomb de 3 kilogrammes. Cette bouée a la forme d'une pyramide triangulaire, qui a pour base un triangle équilatéral, et dont les faces latérales sont des triangles isocèles. Au sommet de la pyramide est adaptée une poulie où passe la ligne de loch, ayant un plomb à son extrémité. Un ressort est adapté à cette poulie et presse sur la ligne. Celle-ci glisse sans difficulté, tant qu'elle est sollicitée par le poids du plomb, et est arrêtée par le ressort, aussitôt que le plomb ayant touché le fond, la bouée s'incline sur l'eau.

On voit, d'après cette description, qu'en fixant la ligne à la poulie, on a un loch qui, maintenu par un poids plongé assez profondément, doit être moins impressionnable par les courants que le loch actuel, et, par suite, fournit des indications moins défectueuses. On voit encore comment, en laissant filer la ligne, on peut sonder en marchant rapidement sans carguer les voiles, opération qui ne saurait être répétée souvent, et qui, cependant, dans l'état actuel, est nécessaire pour connaître la profondeur de l'eau et éviter les échouements dans des mers difficiles, surtout lorsque l'on ne connaît pas bien la position où l'on se trouve, lorsque des courants ont changé la route que le navigateur croit suivre.

Plusieurs commissions ont vérifié l'exactitude des indications fournies par le loch-sondeur, et l'on ne peut que faire des vœux pour la propagation, malheureusement trop lente, de cet utile instrument.

LOCOMOTIVE ENGERTH. L'utilité de transporter sur les grandes lignes de chemin de fer des quantités très-considérables de marchandises et par suite d'augmenter le poids des trains, mais plus encore la nécessité de remorquer des trains ordinaires sur les chemins de fer dans lesquels la configuration du terrain a obligé de laisser subsister des pentes assez fortes, ont fait chercher par la plupart des constructeurs un type de locomotives plus puissantes que tout ce qui avait été construit jusqu'alors. Nous avons déjà cité les résultats du concours ouvert pour construire des machines convenables pour l'exploitation du chemin de fer du Sœmmering, de Vienne à Trieste.

Les résultats de ce concours, bien que n'ayant pas produit un type dont l'usage ait été tout à fait satisfaisant, ont été excellents en indiquant la nature du problème à résoudre, qui était de construire une locomotive d'un poids considérable, d'utiliser son poids et celui du tender, et d'y parvenir par une disposition convenable pour le passage des petites courbes. C'est ce qu'a réussi à faire M. le conseiller Engerth, en utilisant les divers éléments du concours et en introduisant dans la machine des engrenages qui avaient été considérés comme ne pouvant être utilisés, et qu'il est parvenu par des dispositions de détail à pouvoir employer sans inconvénient grave.

Ces machines, qui fonctionnent depuis 1853 sur le Sœmmering, sont des machines à train articulé portées sur cinq paires de roues de même diamètre, pouvant toutes concourir à produire l'adhérence au moyen d'un engrenage de trois roues dentées, interposé entre les deux trains articulés et qui communique le mouvement de rotation des roues du premier train aux roues du second train, dans toutes les positions de convergence des deux trains.

La roue du milieu du triple engrenage est disposée pour être débrayée à volonté, et laisser par là une complète indépendance entre les essieux du train d'avant et ceux du train articulé. Dans le cas du débrayage, la locomotive n'utilise que l'adhérence du train fixe, et laisse fonctionner les roues du train articulé comme roues indépendantes. Des bielles d'accouplement qui lient ensemble les deux essieux du train articulé donnent toute l'énergie possible au frein, dont les sabots n'agissent que sur les roues du dernier essieu.

Le poids total de la machine et du tender en service est de 56,000 kilog., dont 39,000 reposent sur les trois paires de roues d'avant. Dès lors, on voit que l'on peut à volonté, dans la saison d'hiver, utiliser l'adhérence totale de 56 tonnes en faisant fonctionner l'engrenage ; ou bien, dans la saison d'été, en débrayant l'engrenage, ne demander au train d'avant que 39 tonnes d'adhérence, et conserver 17 tonnes sur le train articulé pour assurer l'action du frein.

Les engrenages, qui auraient pu devenir un écueil pour le système, paraissent résister parfaitement, à la condition toutefois de les tenir constamment plongés dans un bain d'huile et de suif, renfermé dans une boîte construite à cet effet.

Avec le nouveau mode d'articulation, il était nécessaire de donner toutes facilités de se produire à l'ensemble des mouvements relatifs entre les deux trains, et qu'on peut ainsi décomposer : mouvement de *convergence*, mouvement de *torsion* ou de *roulis*, mouvement d'*inflexion* dans le sens vertical. Pour cela, M. Engerth a été conduit à l'emploi d'un support de chaudière sur le bâti du train mobile des plus ingénieux et dont nous croyons devoir faire une description spéciale.

Ce support fixé très-solidement à la boîte à feu, en un point convenablement choisi pour une répartition déterminée du poids de la machine sur le train articulé, envoie au-dessus du châssis du tender qui doit le

recevoir une branche horizontale sous laquelle est venue de forge une *demi-sphère saillante*, qu'on a le soin de parfaitement tourner et ajuster avant l'application.

D'un autre côté, sur le châssis articulé se trouve fixée, précisément au-dessous de la branche horizontale du support, une large plaque parfaitement dressée et formant une véritable *glissière horizontale*.

Entre la branche du support et la glissière est interposée une pièce convenablement ajustée et trempée, dont le dessous, qui est *plan*, repose sur la glissière, et dont le dessus, qui porte une *demi-sphère en creux*, reçoit la *demi-sphère en relief* du support.

Dès lors, quand la chaudière, ou pour mieux dire quand le train d'avant *roule* ou se *tord* sur le train d'arrière et réciproquement, ou bien encore lorsque l'un des deux trains *s'incline* verticalement sur l'autre, il est facile de voir que les surfaces sphériques jouent l'une dans l'autre. Quand, au contraire, c'est le mouvement de *convergence* qui se produit, les surfaces planes glissent l'une sur l'autre en décrivant des arcs de cercles concentriques à la cheville ouvrière.

Quand les mouvements de torsion, d'inclinaison et de convergence se produisent à la fois, il y a aussi à la fois mouvement entre les surfaces sphériques et entre les surfaces planes du support.

Pour que la cheville ouvrière ne devînt pas un obstacle à tous ces mouvements, M. Engerth lui a donné une forme sphérique et l'a renfermée dans un coussinet intermédiaire, aussi sphérique à l'intérieur et cylindrique à l'extérieur, de manière à permettre à l'articulation d'épouser tous les mouvements des deux trains.

C'est en employant ces ingénieuses combinaisons que l'auteur de la machine du Sœmmering est parvenu à faire constamment reposer l'arrière de la chaudière sur le bâti du tender, dans toutes les positions relatives des deux trains.

Il y a là, comme on le voit, des dispositions mécaniques parfaitement étudiées et parfaitement appropriées au rôle qu'elles ont à remplir. Toutefois, l'articulation Engerth a soulevé certaines objections que nous ne croyons pas devoir passer sous silence. On a dit : Dans l'articulation à l'avant ou à l'américaine, les chocs et les efforts de traction n'intéressent que le bâti rigide qui se prolonge d'un bout à l'autre de la machine, en portant à ses deux extrémités les crochets d'attelage et les tampons de choc ; avec l'articulation à l'arrière, au contraire, puisqu'il y a deux bâtis distincts réunis seulement par la cheville ouvrière et portant chacun ses tampons de choc et crochet d'attelage, il est clair que les efforts de traction et les chocs, soit à l'avant, soit à l'arrière, passent tous par la cheville ouvrière. On en a conclu que cette cheville serait très-fatiguée, prendrait rapidement du jeu et pourrait même quelquefois être brisée. Mais à tout cela on peut répondre qu'avec des assemblages robustes et de grandes surfaces de frottement dans l'articulation, on parera autant qu'on le voudra aux inconvénients signalés. De plus, la cheville ouvrière du train articulé se trouve dans des conditions qui ne diffèrent pour ainsi dire pas de celles des chevilles actuelles de connexion de la machine au tender, quand les deux véhicules sont séparables.

Nous ferons apprécier le succès de la locomotive Engerth en disant que les chemins de fer de l'Europe centrale sont parcourus en ce moment par 7 en 800 locomotives Engerth, bien que ce type soit encore assez récent. C'est l'instrument de traction par excellence pour les trains pesamment chargés, pour les chemins qui ont à transporter d'immenses quantités de marchandises. On conçoit, d'après cela, qu'elle a été adoptée par le chemin de fer du Nord, qui a à transporter d'immenses quantités de houille de la Belgique et du Nord pour l'approvisionnement de la capitale, et qui a entrepris de lutter avec les canaux et la batellerie.

Les ingénieurs du chemin de fer du Nord se sont proposés de conserver les principaux avantages du système et de supprimer néanmoins les engrenages, qui sont évidemment la partie faible du système Engerth. Ils y sont parvenus en couplant ensemble quatre paires de roues, la quatrième portant une partie importante du poids du tender que supporte par sa partie antérieure l'arrière de la machine. Comme un assemblage rigide ne pourrait permettre le passage dans les courbes, la bielle d'accouplement, qui met en mouvement cette quatrième paire de roues, est articulée de manière à laisser faire un mouvement de conversion à l'essieu de cette quatrième paire de roues, suffisant pour éviter tout déraillement sur un chemin à grandes courbes.

Ces énormes machines, dans lesquelles la surface de chauffe atteint 200 mètres carrés, et qui, la chaudière pleine, pèsent 62 tonnes, remorquent des convois d'un poids de 650 tonnes, dont la charge utile est de 450 tonnes, à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure.

M

MACHINES A VAPEUR ROTATIVES. La recherche de la combinaison la plus convenable pour la construction d'une machine à vapeur produisant immédiatement un mouvement circulaire continu est une de celles qui ont fait le plus de victimes dans le monde des inventeurs. La plupart, ignorant le véritable mode d'action de la bielle et de la manivelle, sont constamment partis de ce principe, que dans le mouvement rectiligne alternatif de la machine à piston, il y avait une destruction de travail par l'effet du changement de sens du mouvement. Nous ne pouvons que renvoyer aux traités de mécanique ou à l'article BIELLE de cet ouvrage pour la démonstration de cette erreur grossière, qui une fois reconnue supprime l'intérêt qui pouvait s'attacher aux essais de machines dans lesquelles on voulait faire agir la vapeur dans les mêmes conditions que dans la machine ordinaire, mais en produisant immédiatement le mouvement circulaire.

Nous nous arrêterons donc peu sur ces inventions ; toutefois la simplicité possible de ces machines, le faible poids qu'elles pourraient avoir, ne laissent pas que de donner quelque intérêt à ces recherches, lorsqu'il s'agit de les appliquer à de petites forces et d'obtenir non une machine avantageuse comme économie de combustible, mais comme bon marché et légèreté. Nous citerons les deux systèmes qui nous paraissent les moins imparfaits et offrir le plus d'intérêt : la machine française de l'ingénieux Pecqueur, perfectionnée par son ancien contre-maître, M. Moret, et la machine à disque, le *disc-Engine*, de Bishop et Rennie, dans laquelle cet habile constructeur a une grande confiance, et qu'il a employée avec quelque succès pour

MACHINES A VAPEUR.

faire mouvoir l'hélice d'un bateau à vapeur de 80 chevaux de force.

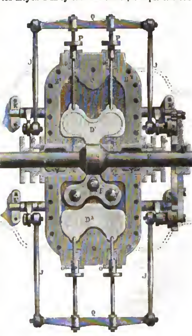
Le grand Watt avait fixé un instant son attention sur la question des machines rotatives, et avait aussitôt imaginé le type, d'où sont nées bien des pompes rotatives, dont la plupart des machines inventées depuis n'ont été et ne pouvaient être que des répétitions. Elle consiste en un piston à section rectangulaire tournant autour de l'axe horizontal d'un cylindre, et pressé d'un côté par la vapeur, tandis que l'autre face est en communication avec l'air ou le condenseur. Ces deux zones différentes ne peuvent exister et la vapeur prendre de point d'appui pour pousser le piston, que par l'effet d'un plan s'appuyant sur l'axe et fermant le cylindre, plan qui, mobile, rentre dans une cavité disposée à cet effet quand le piston va le rencontrer, à moins que ce ne soit le piston lui-même qui vienne s'appliquer sur le cylindre à la rencontre d'une cloison fixe, comme on l'a encore proposé.

Watt reconnut bien vite l'impossibilité d'appliquer ce système à de grandes forces, la difficulté d'empêcher le plan de fermeture de laisser passer la vapeur directement au condenseur, et cessa de s'occuper d'une machine si inférieure à la machine à piston cylindrique si bien disposée pour obtenir de bonnes garnitures de piston, utiliser la détente, etc. La différence des chemins parcourus par les divers points du piston diamétral et par suite d'usure ne peut permettre évidemment d'obtenir des garnitures comparables à celles du piston de la pompe cylindrique, pour lequel l'usure est la même en tous les points.

Machine Pecqueur. — La machine rotative de M. Pecqueur, dont nous donnons une coupe horizontale (fig. 3643), peut être considérée comme réalisant le mieux possible les conditions de bon travail de la machine précédente, par l'emploi de dispositions excellentes pour de petites machines. C'est en effet dans les ateliers de passementerie, de fabrication d'articles de Paris, qu'elle a trouvé et devait trouver ses meilleurs débouchés.

L'idée qui paraît avoir présidé à la forme qu'on a donnée à son piston (celle d'un double cœur très-élargi) semble avoir été d'éviter les angles dans lesquels il est difficile d'obtenir une obturation complète. Le piston a donc la forme d'un cœur très-évasé, dont la pointe est coupée, et qui est fixé, par cette section, sur un arbre creux dans la partie comprise entre deux pièces nommées *bouchons*, parce qu'en effet ils servent à fermer la machine ; mais ils ont une autre fonction. L'un d'eux est en même temps un véritable prolongement de la boîte à vapeur, avec laquelle il communique ; un autre est constamment en communication avec l'échappement, et cela dans les conditions convenables, par l'effet du jeu d'un tiroir semblable aux tiroirs ordinaires, dont nous parlons plus loin. La partie de l'arbre qui tourne dans ces bouchons est percée de deux ouvertures dont l'une, celle de l'admission, va communiquer derrière le piston, et dont l'autre, celle de l'échappement, va communiquer devant le piston. C'est par le vide pratiqué dans l'arbre que cette communication a lieu ; un diaphragme, placé dans ce vide, sépare la vapeur qui arrive de la vapeur qui s'échappe. Quant à la boîte à vapeur, elle est percée de trois lumières, dont une est constamment en communication avec l'échappement par le tiroir, et dont l'autre n'est momentanément fermée par le recouvrement que pour produire la détente, car si l'on veut marcher sans détente, le dessous du piston reste constamment en communication avec la chaudière. Si l'on déplace le tiroir de manière que la lumière que nous venons de supposer être celle d'admission soit mise en communication avec l'échappement, il en résulte tout naturellement un changement de marche instantané.

Les autres pièces essentielles de cette machine sont deux palettes horizontales, et placées dans le même plan, qui pénètrent dans la boîte où se meut le piston de manière à pouvoir séparer cette boîte en deux parties égales. Au moyen d'un système de cadres, ces palettes sont



3613.

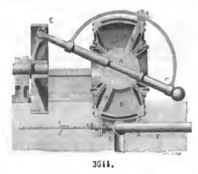
mises en mouvement par un excentrique qui, pendant une demi-révolution, n'agit que sur l'une d'elles et laisse l'autre fixe. Le mouvement imprimé à celle qui se meut est un mouvement de retraite du dedans en dehors, mouvement calculé de telle sorte qu'au moment où le piston va passer, la palette est au point le plus éloigné de sa course, et qu'aussitôt que ce passage a eu lieu, un ressort la ramène brusquement de manière à produire une obturation complète. A cet instant, mais à cet instant seulement, les deux palettes sont fermées ; car aussitôt l'excentrique agit sur la palette qui précédemment était fixe, et lui imprime le mouvement de dedans en dehors qui la fait s'éloigner successivement de l'arbre.

Le jeu de la machine est maintenant facile à comprendre. Aussitôt que le piston a dépassé la palette arrivée à son maximum d'éloignement, celle-ci se rapproche brusquement et vient servir d'appui, de fond de cylindre, si l'on veut, à la vapeur qui se dégage incessamment derrière le piston pour le pousser. Comme l'autre palette a, au même instant, par le mouvement qu'elle reçoit de l'excentrique, commencé à s'éloigner de l'arbre, tout l'espace autre que celui compris entre la palette maintenant fixe et le piston est en communication avec l'échappement. Quand la demi-révolution est terminée, il se passe exactement la même chose, seulement le rôle des deux palettes est inter-

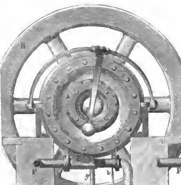
verti, de là un mouvement de rotation continu et une action continue de la vapeur, avec ou sans détente, selon la manière dont on a réglé le tiroir, ou plutôt l'excentrique qui commande ce tiroir.

M. Moret annonce qu'avec la machine non perfectionnée, des expériences au frein ont indiqué une consommation de 3 kilog. par heure et par force de cheval, et il espère qu'en marchant avec détente et condensation, il lui sera possible de descendre à 1 et demi ou 2 kilogrammes. Le perfectionnement réel apporté à la machine Pecqueur par M. Moret, par l'addition des seconds bouchons métalliques extérieurs en metal doux augmente sa valeur qui réside surtout dans son peu de volume et de poids (800 kilog. pour six chevaux, volant compris).

Machine à disque. — Depuis 1842, l'emploi de la machine à disque a pris quelque extension en Angleterre, et sa composition curieuse mérite l'attention. Elle consiste essentiellement dans une enveloppe fixe, formée intérieurement d'une zone sphérique et de deux surfaces coniques, ou plutôt deux nappes d'une même surface conique ayant même centre que la zone sphérique (fig. 3644 et 3645). Les deux surfaces coniques sont



3644.



3645.

interrompues près de leur sommet commun, et remplacées par une sphère mobile à laquelle sont invariablement fixés un disque circulaire de même diamètre que la zone sphérique et un bras implanté perpendiculairement au plan du disque. L'angle au centre des nappes coniques étant supérieur à 90 degrés, lorsque le disque touche ces deux nappes suivant deux génératrices placées sur le prolongement l'une de l'autre, le bras est contenu dans l'intérieur de l'une des nappes, et quand le disque se meut en restant toujours tangent aux nappes coniques, ce bras décrit dans l'espace un cône dont le demi-angle au centre est égal au complément du demi-angle au centre des nappes coniques, et son extrémité décrit une circonférence de cercle dont le centre est situé sur l'axe de ces nappes (fig. 3646). Dans l'espace annulaire limité par la zone sphérique, par les deux portions de nappes coniques et par la sphère centrale à laquelle sont fixés le disque et le bras mobile, est une cloison plane fixée à l'enveloppe, qui se prolonge jusqu'à la sphère centrale et dont la forme est celle d'un secteur circulaire. Le disque mobile est fendu suivant un de ses rayons, pour laisser



3646.

passer la cloison fixe, des deux côtés de laquelle sont situés les orifices pour l'admission et la sortie de la vapeur. Il résulte de ces dispositions que la vapeur motrice remplit, dans l'enveloppe, au-dessous du disque, un espace limité par la cloison fixe, et par la génératrice de contact de la face inférieure du disque avec l'une des nappes coniques, au-dessus du disque, un espace limité par la cloison fixe et par la génératrice de contact de la face supérieure du disque avec l'autre nappe conique, génératrice qui est le prolongement de la première et en est, par conséquent, écartée d'un angle de 180 degrés dans le plan du disque.

Supposons le disque amené contre l'orifice de la vapeur et que celle-ci soit admise, elle pressera d'un côté sur le diaphragme et de l'autre elle cherchera à passer le point de contact du disque et du cône; mais comme elle ne peut le faire, elle le poussera comme un coin, en changeant constamment le point de contact, le faisant reculer et augmentant l'espace qu'elle occupe. Quand cet espace est assez grand, le courant de vapeur s'arrête et il y a détente, jusqu'à ce que l'autre côté du diaphragme devienne libre. Un mouvement oscillatoire et de rotation est ainsi communiqué à la manivelle et le mouvement circulaire directement engendré, le disque se mouvant en restant constamment tangent aux deux nappes coniques, il entraîne avec lui la sphère centrale et le bras fixé à cette sphère, qui transmet un mouvement de rotation continu à un arbre de couche extérieur.

Machines rotatives du deuxième genre. — Dans ce qui précède, nous avons eu en vue les machines rotatives dans lesquelles la vapeur agit sensiblement de la même manière que dans les machines ordinaires à faible vitesse de piston, et nous avons vu que les recherches dans cette direction étaient dépourvues d'avenir. Nous ne saurions être aussi explicites pour l'espèce de machines qui nous reste à examiner et dans lesquelles la vapeur se meut avec une grande vitesse. Bien que jusqu'ici ce genre de machines n'ait donné aucun résultat avantageux, et quoiqu'il soit fort douteux que l'on possède des moyens convenables de transmettre à un récepteur la force vive de la vapeur, toutefois la théorie indique qu'il y a espoir d'arriver dans cette voie à des résultats importants. Cette catégorie correspond, comparée aux moteurs hydrauliques, à ceux qui emploient l'eau en mouvement, comme les turbines, les roues à aubes courbes, tandis que la machine à

piston à petits vitesse correspond aux machines hydrauliques dans lesquelles l'eau agit dans son poids, comme les roues à augets, les machines à colonne d'eau, etc.

La vitesse du mouvement du fluide est, dans de semblables machines, l'élément important à considérer, celui qui entre comme élément principal dans l'expression du travail possible. En effet, ce qui caractérise essentiellement la vapeur en mouvement s'échappant d'une chaudière où elle s'est formée, c'est que la vitesse est très-grande et la masse très petite. C'est de là que résultent les principales difficultés qui se rencontrent quand on cherche à utiliser le travail de la vapeur en mouvement.

Soit P la pression initiale de la vapeur, p la pression finale, π sa densité; sa vitesse de sortie du réservoir est donnée par la formule $U = \sqrt{2\frac{P-p}{\pi}}$.

En calculant les vitesses d'après les volumes de la vapeur, déterminés comme on le fait habituellement dans la théorie de la machine à vapeur ; en combinant la loi de Mariotte avec celle de Gay-Lussac, on arrive à des résultats possédant le seul degré d'approximation qu'on puisse obtenir, jusqu'à ce que des expériences directes aient permis de déterminer directement la densité de la vapeur saturée aux diverses pressions. Il est au reste suffisant pour la question qui nous occupe. On dresse ainsi le tableau suivant :

Poids et vitesses de la vapeur s'échappant dans l'atmosphère à diverses pressions.

Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.	Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.	Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.
5.00	2.568	562	1.60	0.900	368	1.09	0.630	170
4.75	2.457	554	1.50	0.854	343	1.08	0.626	164
4.50	2.334	549	1.45	0.830	331	1.07	0.622	151
4.25	2.247	546	1.40	0.800	318	1.06	0.619	140
4.00	2.096	537	1.35	0,778	302	1.05	0.610	129
3.75	1.972	530	1.30	0.750	285	1.04	0.607	116
3.50	1.855	520	1.25	0.722	265	1.03	0.601	101
3.25	1.734	512	1.22	0.705	252	1,02	0.598	83
3.00	1.611	502	1.20	0.693	242	1.01	0.595	58
2.75	1.487	488	1.18	0.684	232	1.00	0.590	41
2.50	1.363	472	1.16	0.670	220	1.00	0,588	0
2.25	1.238	451	1.14	0.658	213	»	»	»
2.00	1.111	427	1.12	0.647	191	»	»	»
1.75	0.984	394	1.10	0.636	178		»	»

On voit par ce tableau combien les vitesses de la vapeur sont considérables, puisque celles qu'il s'agirait d'utiliser dans les machines dont nous avons à parler dépassent 500 mètres par seconde, la vitesse du boulet sortant de la bouche à feu !

Passons à la description des machines qui ont été tentées ou plutôt projetées.

Nous remarquerons, d'abord, qu'il est un cas simple dans lequel, depuis l'antiquité, on utilise l'action de la vapeur en mouvement, c'est lorsqu'il s'agit de souffler l'air. Les éolipyles employés à cet effet, décrits par Vitruve, agissent évidemment par les mêmes principes que les parties de la locomotive qui servent à conduire la vapeur dans la cheminée de manière à produire le tirage et l'insufflation de l'air. Seulement la vue de celle-ci montre bien comment la vapeur ne produit dans de semblables conditions qu'une partie du travail qu'elle pourrait produire, sa vitesse étant amortie aussitôt qu'elle rencontre l'air dans lequel elle s'écarte en tous sens, et qu'elle se refroidit à une température peu élevée, qu'elle se condense. Nul besoin d'insister sur ce cas, qui ne tire son avantage que d'une application toute spéciale, ni, à cause des mêmes inconvénients, du système de Branca, qui proposait de souffler de la vapeur sur les ailes d'une roue à palettes.

Nous avons déjà parlé, à l'article MACHINE A VAPEUR, des machines à réaction de Héron d'Alexandrie, qu'il ne faut considérer que comme un moyen de démontrer un intéressant principe de physique, mais non un moyen d'application acceptable. On revient aujourd'hui à la recherche des moyens de réaliser des machines rotatives de cette nature, et les grands succès obtenus dans ces dernières années avec les turbines hydrauliques ont fait reprendre par plusieurs inventeurs et savants distingués l'idée de turbines à vapeur.

Il importe de bien remarquer à cet égard que l'analogie des deux cas n'est que très-éloignée ; que les vitesses en jeu dans les turbines hydrauliques ne sont jamais en général égales à $\frac{1}{10}$ᵉ de celles dont nous venons de parler, mais surtout que de la vapeur ou un fluide élastique se comporte tout autrement que de l'eau. Au lieu de presser comme l'eau, constamment dans le sens de la résultante des forces qui agissent sur lui, il rebondit par son élasticité, forme des remous qui changent le sens du courant; il ne suit nullement la voie indiquée et fournit des résultats tout autres que ceux qui étaient attendus. Aussi le travail obtenu s'est-il toujours trouvé dans les systèmes imaginés jusqu'ici insuffisant pour permettre de les mettre en comparaison avec les machines à cylindre et à piston.

Ce que nous disons là est vrai de machines formées de tuyaux recourbés à angle droit avec leurs extrémités, qui avaient été importées d'Amérique il y a quelques années, et aussi, bien qu'à un moindre degré, de celle de M. Isoard, dans laquelle la vapeur circule avec une vitesse de 500 tours par minute, dans une spirale en fer forgé, du centre vers l'extrémité, condition excellente pour forcer la vapeur à prendre une vitesse de translation de sens opposé à celui de l'émission.

Les vitesses de ces machines étant insuffisantes, il fallait un nouveau principe; car dans la pratique, pour des pièces d'un certain poids, des vitesses de plus de 10 à 20 tours par seconde sont difficilement admissibles, et elles ne le sont même que pour des pièces légères. Ce nouveau principe a été formulé dans des conditions conformes à ce que la théorie indique par M. Tournaire, ingénieur des mines, qui a réuni ses efforts à M. Burdin, lequel, après avoir été le créateur des turbines hydrauliques, s'est appliqué avec ardeur à l'étude des questions qui se rapportent à l'emploi de l'air échauffé à l'aide des machines à réaction. M. Tournaire a fait connaître les résultats de ses recherches sur les turbines multiples et à réactions successives, propres à utiliser le travail moteur que développe la chaleur dans les fluides élastiques, par une note envoyée à l'Académie des sciences, que nous allons citer, et qui est une étude théorique de la question.

« Les fluides élastiques, dit-il, acquièrent d'énormes vitesses sous l'influence de pressions même assez faibles. Pour utiliser convenablement ces vitesses sur de simples roues analogues aux turbines à eau, il faudrait admettre un mouvement de rotation extraordinairement rapide, et rendre extrêmement petite la somme des orifices, même pour une grande dépense de fluide. On éludera ces difficultés en faisant perdre à la vapeur ou au gaz sa pression, soit d'une manière continue et graduelle, soit par fractions successives et en le faisant plusieurs fois réagir sur les aubes de turbines convenablement disposées. »

L'auteur rapporte l'origine des recherches auxquelles il s'est livré sur ce sujet à des communications que M. *Burdin* lui a faites en 1847. Cet ingénieur, qui s'occupait alors d'une machine à air chaud, voulait projeter successivement le fluide comprimé et échauffé sur une série de turbines fixées sur un même axe. Chacune d'elles, renfermée dans un espace hermétiquement clos, devait recevoir l'air lancé par des orifices injecteurs et le déverser avec une très-faible vitesse. L'auteur songeait aussi à comprimer l'air froid au moyen d'une série de ventilateurs disposés d'une manière analogue. L'idée d'employer des turbines successives afin d'user en plusieurs fois la tension du fluide est simple et vraie; elle peut seule fournir le moyen d'appliquer aux machines à vapeur ou à air le principe de la réaction.

Dès que les différences de tension sont considérables, comme cela a lieu dans les machines à vapeur, on reconnaît qu'il est nécessaire d'avoir un grand nombre de turbines pour amortir suffisamment la vitesse du jet fluide. La légèreté et les dimensions très-faibles des pièces mises en mouvement permettent, d'ailleurs, d'admettre des vitesses de rotation très-grandes par rapport à celles des machines usuelles. Il faut que, malgré la multiplicité des organes, les appareils soient simples dans leur agencement; qu'ils soient susceptibles d'une grande précision; que les vérifications et réparations en soient rendues faciles. Ces conditions essentielles sont remplies au moyen des dispositions suivantes :

Une machine se composera de plusieurs axes moteurs, indépendants les uns des autres et agissant, par l'intermédiaire de pignons, sur une même roue chargée de transmettre le mouvement. Chacun des axes portera plusieurs turbines; celles-ci recevront et verseront le fluide à une même distance de l'axe. Entre deux turbines sera placée une couronne fixe d'aubes directrices. Les directrices recevront le jet sortant d'une roue à réaction et lui imprimeront la direction et la vitesse le plus convenables pour que ce jet exerce son action sur la roue suivante. Chacun de ces systèmes d'organes mobiles et d'organes fixes sera renfermé dans une boîte cylindrique. Les aubes directrices feront partie de bagues ou pièces annulaires qui se logeront dans le cylindre fixe et qui devront s'adapter exactement les unes au-dessus des autres. Les turbines auront aussi la forme de bagues et viendront s'enfiler sur un manchon dépendant de l'axe. Les directrices supérieures, qui feront simplement office de canaux injecteurs, pourront appartenir à une pièce pleine dans laquelle se logera la fusée ou le tourillon de l'axe, et qui servira à fixer celui-ci. Un appareil ainsi composé sera facile à monter et à démonter. Pour la transmission du mouvement, il faudra que l'axe traverse le fond de la boîte cylindrique dans une douille offrant une fermeture hermétique; une seule fermeture suffira pour chaque série de roues à réaction.

Après avoir agi sur les turbines dépendant du premier axe et avoir ainsi perdu une plus ou moins grande partie de son ressort, le fluide exercera son action sur les turbines du second axe, et ainsi de suite. A cet effet, de larges canaux mettront en communication le fond de chaque boîte cylindrique avec la partie antérieure de celle qui la suit. L'ensemble des boîtes et de ces canaux pourra faire partie d'une même pièce en fonte. Comme la vapeur ou le gaz se détendra au fur et à mesure qu'il parcourra les aubes des roues et des directrices, il faudra que ces aubes offrent des passages de plus en plus larges, et les derniers appareils auront des dimensions plus grandes que les premiers.

Plusieurs causes tendront à diminuer l'effet utile de ces appareils et à le rendre inférieur à l'effet théorique.

Une partie du fluide s'échappant par les intervalles de jeu qu'il est nécessaire de laisser entre les pièces mobiles et les pièces fixes n'aura point d'action sur les turbines, et ne sera point guidée par les directrices; il se produira des chocs et des tourbillonnements à l'entrée et à la sortie des aubes. Les frottements, que l'exiguïté des canaux rendra considérables, pourront absorber une assez notable partie du travail théorique.

Tous ces effets nuisibles se produisent dans les turbines hydrauliques, les uns avec une intensité qui semble devoir être à peu près égale, les autres, tels que les frottements, à un degré moindre. Ces roues à réaction sont pourtant d'excellentes machines. Pour que les appareils à vapeur ou à air chaud de nature analogue puissent les égaler sous le rapport de l'effet moteur utilisé, il faudrait une construction très-parfaite, qu'il sera peut-être difficile d'atteindre complètement à cause de la petitesse des organes. Mais, en considérant les résultats obtenus avec les machines à piston mues par la vapeur, on verra qu'on pourra faire une large part aux pertes de forces vives sans que les nouvelles turbines cessent de fonctionner dans des conditions relativement bonnes. Plusieurs causes de pertes inhérentes à l'emploi des cylindres et des pistons seront évitées. Ainsi le refroidissement provenant du rayonnement des parois extérieures et de leur contact avec le milieu ambiant sera négligeable, puisque les boîtes cylindriques ne présenteront qu'une masse et un volume très-faibles parcourus par un très-grand flux de calorique.

L'avantage principal des appareils moteurs proposés est la légèreté et le peu de volume qu'ils présentent. Appliquées aux machines à vapeur, l'auteur pense que ces turbines multiples permettraient de réduire les dimensions des réservoirs ou magasins de fluide; car la consommation et la production de l'agent moteur se feraient très-régulièrement dans la chaudière, et l'on aurait moins à craindre l'entraînement d'une forte proportion d'eau.

Cet appareil n'a pas été exécuté, et, par les causes que l'inventeur explique, les pertes de travail moteur y seraient très-grandes. Les remous et résistances au passage de la vapeur dans tous les canaux fixes et immobiles laissent peu de chances au succès pratique d'une disposition qui n'est pas sans valeur théorique.

Quant à l'idée d'employer l'air échauffé, comme l'avait proposé M. Reich, au moment de l'enthousiasme pour les machines à air chaud d'Ericson, si, en effet, des turbines à air chaud peuvent séduire en permettant d'envoyer directement dans l'appareil moteur les produits mêmes de la combustion, sans aucune perte de chaleur (le foyer étant fermé), il faut toujours remarquer que l'alimentation de semblables machines exige, non plus, comme dans le cas de l'eau, une pompe alimentaire surmontant un travail résistant correspondant à un volume d'eau minime relativement à celui de la vapeur produite, mais un moyen d'envoyer dans l'appareil un volume d'air égal à plus de moitié de celui qui travaille. La machine rencontre là, par sa nature même, un énorme travail résistant qui rend impossible une semblable combinaison.

Roue-hélice de M. Girard. — Un des ingénieurs les

plus hardis et les plus novateurs de notre époque, M. Girard, dont nous avons décrit l'écluse, les procédés d'hydropneumatisation, etc., a entrepris la solution du problème qui nous occupe, et, avec l'aide de l'habile M. Froment, a essayé d'appliquer à la vapeur le système de roues-hélices, de turbines sans directrice, qu'il a imaginé et construit avec succès pour utiliser le travail moteur d'une rivière à niveau variable, et qu'il a établi sur la Marne, à Noisiel, dans l'usine de M. Ménier. Nous emprunterons la description de l'une et l'autre machine à M. Léon Foucault, grand admirateur du génie inventif de M. Girard.

« Pour donner une première idée, dit-il, de la roue-hélice employée comme moteur hydraulique, que l'on se représente, dans un cours d'eau, une cloison percée verticale qui sépare les eaux d'amont et d'aval, puis le moteur installé dans l'orifice de communication, de telle sorte que la roue se présente transversalement au courant, pendant que son axe demeure horizontalement placé suivant la direction du cours d'eau. L'orifice de communication qui permet au fluide de passer d'amont en aval est encore réduit, par un obstacle central, à une forme annulaire (fig. 3647 et 3648). Sur le bord extérieur



3647



3648.

de cet orifice s'appuie une paroi qui s'évase vers l'amont en un vaste entonnoir; sur le bord intérieur s'appuie une autre paroi circulaire qui, s'effaçant en sens inverse, se termine bientôt en pointe dans les eaux d'amont. Toutes ces parties sont fixes; elles ont pour objet d'accélérer graduellement la vitesse du fluide qui se présente, jusqu'au moment où il s'échappe par l'orifice annulaire. Passons donc en aval de la cloison, et si l'orifice est découvert, nous verrons les eaux sortir avec la vitesse acquise après s'être moulées en un cylindre creux ou en fraction de cylindre suivant la hauteur du niveau d'amont. Lorsque les eaux sont hautes et que l'orifice est masqué, la figure des eaux mouvantes n'est plus visible, mais elle n'en existe pas moins; c'est ce cylindre d'eaux courantes qu'il s'agit maintenant de faire travailler.

« Les choses étant là, tout le monde aura l'idée de placer une couronne de palettes obliques en regard de cette ouverture, qui vomit un cylindre d'eaux vives. Mais voici l'embarras : si vous mettez des aubes planes, il y aura des chocs, des tourbillonnements et perte inévitable de force vive; si vous mettez des aubes courbes, le fluide, graduellement retardé, obstruera les interstices, et l'évacuation du fluide n'aura plus lieu librement. Il suffit du plus simple tracé pour s'assurer au premier coup d'œil que les aubes, en se courbant, se rapprochent les unes des autres de manière à rétrécir le canal formé par leurs parois; et si d'ailleurs ces aubes conservent suivant l'usage la même hauteur depuis leur origine jusqu'à leur terminaison, il est clair que la section de tous les canaux curvilignes, considérée dans le sens de la marche du liquide, va en diminuant progressivement depuis l'orifice d'admission jusqu'à l'orifice d'évacuation. Ce rétrécissement de la section transversale occasionne un engorgement fâcheux auquel on n'avait su obvier jusqu'ici que par l'emploi des directrices, sortes d'aubes fixes qui pincent la veine et la réduisent à des dimensions inférieures à celles de la section minimum du canal à franchir.

« Mais comme nous l'avons annoncé, M. Girard supprime les directrices; il fallait donc imaginer quelque nouvel artifice pour rétablir la libre circulation du liquide dans les canaux interstiticiels des aubes. Puisque, par le fait de leur courbure, la section des canaux interposés diminue en largeur, établissons une compensation, s'est dit M. Girard, en augmentant la hauteur, et si les variations inverses de ces deux dimensions sont convenablement combinées, la section du canal, tout en changeant de forme, conservera la même étendue, et, par suite, le fluide circulera sans obstacle depuis son entrée dans les aubes jusqu'à sa sortie. Cette considération a conduit M. Girard à accroître la hauteur des aubes à mesure qu'elles se courbent et à insérer leurs bords adhérents sur des parois évasées dont la disposition est analogue à celle des parois fixes établies en amont de la cloison pour produire l'accélération des eaux. Abstraction faite des aubes, ces parois concentriques et mobiles interceptent un espace annulaire disposé symétriquement en aval de la cloison avec celui qui existe en amont.

« Le même genre de symétrie affecte les eaux dans leur marche : en effet, engagées dans la partie évasée de l'infundibulum d'amont, elles gagnent en s'accélérant la partie la plus étroite. Ayant ainsi acquis leur maximum de vitesse, elles franchissent le détroit annulaire, qui les dirige dans la couronne des aubes; mais à ce niveau l'espace s'élargit de nouveau, et le ralentissement que le fluide éprouve correspond admirablement au travail absorbé par le moteur. De quelque manière qu'on envisage la question, cet évasement des parois de la roue apparaît comme la solution vraie, unique et nécessaire du problème des turbines sans directrices, car s'il inflige au liquide un ralentissement dans sa vitesse absolue, il conserve à ce liquide toute sa vitesse relative par rapport aux aubes. En

même temps que ces deux conditions sont satisfaites, l'espace est occupé par le fluide travailleur en long, en large et en travers; il n'y a pas un centimètre de perdu; c'est, en un mot, qu'on nous passe l'expression, c'est une heureuse exploitation de la troisième dimension.

« La roue-hélice ne donne toute sa puissance que lorsqu'elle plonge entièrement sous l'eau et que la chute conserve une hauteur convenable, car alors toutes ses aubes travaillent à la fois. Quand elle émerge, ce qui est le cas ordinaire, la partie active se réduit d'autant; mais comme en général la hauteur de chute augmente à mesure que le niveau baisse, il en résulte dans l'énergie du moteur une sorte de compensation qui, sans être rigoureusement exacte, est cependant fort avantageuse dans la pratique. Depuis que M. Menier est en possession du nouveau moteur, le niveau a déjà varié maintes et maintes fois, la gelée même a sévi rigoureusement sans que jamais l'usine ait suspendu ni ralenti ses travaux.

« Le nouveau principe d'évacuation des fluides par évasement transversal des aubes présente, quand on l'applique aux moteurs hydrauliques, un grand nombre d'avantages qui seront de plus en plus appréciés dans les applications qu'on en fera par la suite. Les turbines, débarrassées de leurs directrices, deviennent plus simples et plus faciles à construire; elles sont pour ainsi dire à l'abri des désordres occasionnés par l'introduction des corps étrangers, elles débitent beaucoup d'eau, elles sont susceptibles de tourner très-vite, et par suite elles constituent, sous un volume donné, de très-puissants moteurs; enfin elles sont construites pour marcher noyées, ce qui les fait échapper aux embarras résultant de la crue des eaux.

« Mais quand il s'agit d'utiliser la vitesse d'écoulement d'un gaz, la possibilité de supprimer les directrices ouvre aussitôt une bien plus vaste carrière. Tous les essais qu'on avait faits jusqu'à présent pour réaliser la turbine à air ou à vapeur avaient échoué devant l'impossibilité de faire tourner ces machines assez vite pour récolter une proportion avantageuse de l'effet utile. La machine tournant toujours trop lentement, par rapport à la vitesse d'écoulement d'un fluide très-léger, il arrivait que celui-ci se réfléchissait sur les aubes presque instantanément, en conservant la plus grande partie de sa vitesse, et s'échappait, emportant avec lui presque toute sa force vive. Il en résultait une perte évidente qui a suggéré la pensée de faire agir le fluide par cascades. Au sortir d'une première couronne d'aubes, le fluide était repris par une seconde rangée de directrices qui le faisait agir sur de nouvelles aubes; il traversait ainsi successivement dix, vingt, trente systèmes, et il finissait par s'échapper avec une vitesse expirante, après avoir cédé en détail la majeure partie de sa force motrice.

« Théoriquement, cette disposition paraissait très-satisfaisante, mais à l'exécution une pareille machine a présenté des difficultés qu'on n'a jamais pu surmonter. Les parties fixes et les parties mobiles, alternant les unes avec les autres, formaient un ensemble compliqué difficile à construire, et qui laissait échapper le fluide moteur par autant de points qu'il y avait de cascades. M. Girard, en supprimant les directrices, rend le tout solidaire, il fait disparaître tous les joints, il bénéficie du principe des cascades sans en subir les inconvénients. Dans la machine qu'il a imaginée, le fluide moteur, gaz ou vapeur, arrivant par le centre, agit sur une première couronne d'aubes courbes, évasées suivant le nouveau système; de là le fluide se répand dans une rigole circulaire sans aubes; plus loin se trouve une nouvelle couronne d'aubes, puis une nouvelle rigole, et ainsi de suite autant qu'il en faut pour épuiser la totalité de la force vive. Tous ces espaces, alternativement pourvus et dépourvus d'aubes, sont disposés concentriquement les uns aux autres, et leurs hauteurs, considérées dans le sens où le fluide progresse, varient périodiquement de manière à croître dans les zones garnies d'aubes et à décroître dans celles qui en sont dépourvues. Leur ensemble est compris entre deux plateaux qui tournent tout d'une pièce avec les couronnes d'aubes sous l'impulsion du fluide moteur. La machine, agissant par cascades, n'est pas obligée, pour fonctionner utilement, de prendre des vitesses impossibles; néanmoins elle tourne avec une grande rapidité; mais dès que cette vitesse cesse d'être menaçante, dès qu'elle rentre dans les limites accessibles à la pratique, elle devient précieuse et elle assure au moteur une puissance extraordinaire. M. Girard a calculé qu'une turbine à vapeur de cinquante centimètres de diamètre, marchant sous une pression de quatre ou cinq atmosphères à raison de cent tours par seconde, ne rendra pas moins de deux cents chevaux de force.

« L'emploi de ce nouveau moteur n'exclut pas l'adjonction du condenseur, complément ordinaire des machines à vapeur; mais si le service s'en fait comme de coutume par la pompe à air, on trouve que l'accessoire l'emporte de beaucoup sur le principal en poids ou en dimension; aussi M. Girard a-t-il songé à opérer l'épuisement des eaux de condensation au moyen d'un appareil analogue, pour les proportions et pour la manière d'agir, au moteur lui-même. Appliquant le principe des cascades au ventilateur à force centrifuge, il arrive à former un aspirateur qui, mis en mouvement par la turbine, épuise le condenseur d'une manière continue. L'agencement des parties forme alors un système tellement réduit, que la machine de vingt chevaux est représentée en grandeur naturelle sur une feuille de papier à écolier. L'exécution en revient de droit au constructeur d'instruments de précision, et l'inventeur prétend l'emporter sous son bras. Il va sans dire que la réduction de prix sera du même ordre que la réduction de volume. »

Malgré les espérances de succès contenues dans l'intéressant article que nous venons de citer, la roue-hélice de M. Girard, qui avait si bien réussi comme moteur hydraulique, n'a pas donné encore de résultats publics comme appareil à vapeur. Il y a sur la manière d'agir de la vapeur dans cet appareil une observation importante à faire. L'accroissement de volume qui se produit en passant d'une série de palettes à la série suivante produit une diminution subite de pression de la vapeur, qui n'est pas utilisée, et par suite une perte notable si le nombre des turbines n'est pas très-grand, ce qui n'est pas possible pratiquement, puisque leur dimension allant en croissant, il faudrait donner aux plus grandes une vitesse bien moindre que celle que l'on peut donner aux plus petites. Or, c'est dans la possibilité de donner une énorme vitesse par un parfait équilibrement des poids, une excellente lubrification du pivot que réside la chance de succès de cet appareil toujours un peu délicat pour la pratique industrielle, presque autant que de la bonne circulation de la vapeur.

De ce qui précède, nous concluons que l'on peut admettre avec quelque probabilité que, sans faire concurrence aux puissantes machines à vapeur pour produire de très-grandes quantités de travail, les turbines à vapeur pourront donner des résultats dynamiques assez passables pour que leur emploi puisse prochainement se faire place dans l'industrie, dans quelques cas exceptionnels où les opérateurs doivent être animés de vitesses extrêmement considérables.

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE).

Nous avons cherché, dans un premier travail, à m-

diquer les perfectionnements qu'une connaissance plus complète de le manière de se comporter de la vapeur permettait d'apporter à le théorie mécanique généralement reçue. Nous reviendrons ici sur quelques points de cette question.

Volume de la vapeur saturée. — Le point de départ du mode de calcul dont nous voulons parler étant le volume de la vapeur saturée aux diverses températures, sa détermination exacte est tout à fait nécessaire, et pourtant on ne possède guère jusqu'ici que des déterminations théoriques fondées sur des principes découverts pour les gaz permanents et dont l'application aux vapeurs saturées est fort contestable. Il n'y a pas d'analogie évidente entre les dilatations des gaz permanents et les volumes de vapeurs saturées qui se forment à diverses températures. Une intéressante série d'expériences de M. Hirn fournit une première approximation de l'erreur que l'on commet en calculant le poids de la vapeur saturée par la combinaison de la loi de Mariotte avec celle de Gay-Lussac, lois qui n'ont été établies que pour les gaz permanents.

Il a fait ces expériences en recevant la vapeur sortant d'une chaudière dans une capacité métallique d'un volume déterminé et la condensant dans un vase contenant de l'eau, en ouvrant un robinet qui fait communiquer la vapeur avec lui. En multipliant un certain nombre de fois cette opération, le poids de l'eau condensée devient notable.

La grande difficulté de ces expériences consiste à empêcher les condensations accidentelles de la vapeur à son entrée dans le premier vase et les entraînements d'eau de la chaudière. M. Hirn a opéré de deux manières pour éviter ces inconvénients.

La première consiste à envelopper la capacité qui renferme la vapeur dans une enveloppe également en communication avec la chaudière et qui laisse perdre de la vapeur par un petit orifice. L'égalité de température résulte bientôt de ce mouvement de la vapeur. La seconde consiste à plonger la capacité qui renferme de la vapeur dans un bain d'huile à la température de cette vapeur, d'où résulte l'impossibilité d'un refroidissement et la vaporisation de l'eau qui pourrait provenir de la chaudière.

Les résultats étaient très-réguliers avec ce dernier appareil.

On peut reprocher à cette méthode la difficulté de tenir compte du poids de la vapeur qui reste à 1 atm. dans la capacité, lors de la condensation, parce que, résultant d'une détente, elle doit renfermer de l'eau à l'état vésiculaire, cause d'erreur assez faible, l'eau qui reste dans la capacité n'est qu'une petite fraction du volume total, rendant seulement un peu trop forts les volumes. Une bien plus grande cause d'erreur propre au premier appareil, c'était que la vapeur n'y était pas desséchée par un échauffement additionnel, et qu'il y avait entraînement d'eau à l'état vésiculaire, ce qui, exagérant la quantité d'eau, conduisait à des volumes trop faibles. Voici les chiffres qu'il a obtenus :

1° Le premier appareil a donné les volumes suivants pour la vapeur saturée aux diverses pressions :

Pressions.	VOLUMES PAR RAPPORT A L'EAU — Observés.	Calculés par la méthode ordinaire.
2 atm. 1/2	618,7	731
3 — 3/4	434,5	506
4 — 1/4	374,2	451

Le second a donné :

Pressions.	Volume.	Volume tabulaire.
4 atm. 1/4	422	451
5 —	355	388,2

Ce chiffre 355 a été déduit de six expériences concordantes, variant très-peu entre elles, même quand on surchauffait de 4° à 20° au-dessus du point de saturation, et qu'aucune partie d'eau liquide ne pouvait subsister.

Admettant ces chiffres plus faibles que les premiers comme plus exacts, d'après l'observation déjà faite, nous établirons la table suivante, pouvant se conclure des expériences de M. Hirn :

Pression de la vapeur.	Volume par rapport à 1 eau.	Volume d'après les tables.	VALEUR DE PV — d'après les tables.	d'après l'expérience.
1 atm.	1689	1689	1689	1689
2 —	847	891	1782	1694
2 — 1/2	685	726	1815	1710
3 —	547	614	1842	1728
3 — 1/2	497	533	1865	1741
4 —	438	471	1886	1754
4 — 1/2	391	423	1904	1750
5 —	355	384	1920	1775

C'est une diminution qui varie de 5 à 10 p. 100 à mesure que la pression s'élève et dont il importe beaucoup de tenir compte dans le calcul des effets de la machine à vapeur.

J'ai rapporté, dans les deux dernières colonnes du tableau précédent, les valeurs du produit PV du nombre d'atmosphères de pression par le volume du kilogramme de vapeur. On voit qu'il varie rapidement avec les volumes tabulaires et bien moins rapidement avec ceux déterminés par M. Hirn, qu'il permet de mettre en rapport mutuel ; car il doit croître d'une manière continue, avec une lenteur proportionnée à celle de l'accroissement des chaleurs latentes qui correspondent à la totalité du travail que la chaleur de la vapeur peut produire.

Expression du travail produit. — Nous avons cherché à introduire dans la formule qui donne l'expression du travail de la machine à vapeur la correction qu'exige la nouvelle théorie de la chaleur, c'est-à-dire la disparition de la chaleur, sa consommation en proportion du travail produit. La forme que nous avons adoptée, dans notre premier article, introduisant une correction proportionnelle à chaque accroissement de volume de la vapeur d'une quantité égale à son volume primitif, n'est admissible que pour des détentes peu étendues ; il est évidemment défectueux d'admettre la même correction pour un volume passant de 20 à 21 fois le volume primitif, ou de 1 à 2. La loi de Mariotte, considérée comme loi approchée des pressions, et dont on part pour obtenir la formule qui donne le travail à l'aide du logarithme du rapport des volumes, indique, en y réfléchissant, que la correction doit varier en raison de cette loi pour tenir compte de la chaleur consommée par la détente. Des calculs donnés à l'article CALORIE, il résulte que chaque doublement de volume entraîne approximativement la condensation de 12 p. 100 de la vapeur, c'est-à-dire que pour les volumes 2, 4, 8, 16, 32, on a une précipitation d'une proportion de vapeur égale à 0,12, 0,24, 0,36, 0,48, 0,60 du volume primitif, quand on ne la réchauffe pas extérieurement. Ce sont là les quantités de vapeur dont on évalue à tort le travail dans la formule admise habituellement pour calculer le travail de la vapeur. Comme toutefois ces quantités sont celles qui correspondent à la condensation totale à la fin de chaque détente, c'est approximativement la moitié seulement de la quantité condensée que l'on peut considérer comme n'ayant pas agi pendant la totalité de la course, ce qui ne peut s'admettre que pour les détentes toujours assez limitées de la pratique.

En introduisant cette correction dans la formule déjà obtenue (qui devrait être modifiée en raison de la mauvaise détermination de volume de la vapeur qui y entre),

on obtient ainsi la formule suivante, donnant le travail d'une calorie et, par suite, d'un combustible quelconque, pour tout système de machine à vapeur :

$$12777 \frac{1+0,00368\,T}{606+0,305\,(T-T')}$$
$$\times\left[1+(1-0,06\,n)\,\text{log. hyp.}\,\frac{V_1}{V}(1-0,06\,n)-\frac{P'}{P}\right]$$

n étant déterminé par l'équation $2^n = \frac{V_1}{V}$, n étant le nombre des doublements successifs de volume.

Ainsi, pour une détente de quatre volumes ou $n = 2$ le terme entre parenthèses (indépendamment de $\frac{P'}{P}$) au lieu de 1 + log. hyp. 4 = 1 + 1,38 = 2,38 prend la valeur 1 + 0,88 log. hyp 4 (0,88), c'est-à-dire

1 + 0,88 × log. hyp. 3,52 = 1 + 1,07 = 2,07.

Pour $n = 4$ et $\frac{V_1}{V} = 16$, on aurait 3,77 d'une part, et 2,88 de l'autre.

En prenant quelques exemples d'application, on reconnaîtra facilement que la formule ainsi corrigée représente bien mieux les phénomènes que la formule primitive qui, comme on le sait depuis longtemps, exagère beaucoup les effets de la détente.

De la consommation de la chaleur. — La détermination expérimentale de la valeur exacte de l'équivalent mécanique de la chaleur (voir ÉQUIVALENT), et qui doit être très-voisine de 440 kilogrammètres par calorie, permet de fixer avec plus d'exactitude que nous ne l'avons fait précédemment le travail théorique de l'unité de combustible, limite théorique à laquelle doit être rapporté le travail réel de toute machine à feu dont le degré de perfection est indiqué par la grandeur de ce rapport.

Le nombre de calories dégagées par la combustion dans le calorimètre d'un kilogramme de charbon étant 7,500 (8,000, suivant MM. Favre et Silberman, pour charbon parfaitement pur), le travail mécanique qui pourra être théoriquement produit par cette quantité de chaleur sera de 1,050,000, en nombres ronds 1 million de kilogrammètres. L'appréciation d'une machine à vapeur quelconque sera obtenue par le calcul suivant. Soit, par exemple, une machine consommant 1k,50 par cheval et par heure, ou pour produire 75 kil. métr. par seconde, on 75 × 3,600 = 270,000 kil. métr par heure; elle produit donc par kilog. de houille 180,000 kilog. métr., soit $\frac{180,000}{1,000,000}$ = 0,18, 18 p. 100 du travail théorique.

Les machines de Cornouailles, qui ne consomment que 1 kilog., donnent donc $\frac{270,000}{1,000,000}$ = 0,27, c'est-à-dire 27 p. 100 de travail théorique. Nous allons montrer la cause de l'erreur dans laquelle sont tombés des physiciens éminents en n'évaluant qu'à 3 ou 5 p. 100 le travail utile de la machine à vapeur; ce qu'instinctivement n'ont jamais pu admettre les mécaniciens, qui ne pouvaient comprendre un résultat aussi minime des importantes améliorations apportées à la machine à vapeur, des grandes inventions de Watt et de ses émules.

Erreur commise par les physiciens. — Les savants, et notamment M. Regnault, ce physicien éminent auquel la physique et notamment la théorie de la chaleur doit tant, cet esprit si sage qui n'a jamais eu à revenir sur une proposition qu'il avait avancée, a cependant confirmé en la répétant une proposition formulée préalablement, je crois, par M. Joule, sur la théorie de la machine à vapeur qui est manifestement erronée et qui, à cause même de la juste autorité de l'auteur, a eu une fâcheuse influence, en faisant persévérer de malheureux inventeurs dans des rêves impossibles de machines à air chaud ou autres de même nature.

D'après M. Regnault (Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. XXXVI), dans une machine à détente sans condensation, fonctionnant à 5 atmosphères, la vapeur possède à son entrée 653 calories; elle en conserve 637 à sa sortie, c'est à dire qu'elle n'en a perdu que $\frac{1}{40}$ ou 0,03. Dans une machine à condensation à 5 atmosphères, dont le condenseur conserve une pression de 55 millimètres de mercure, la chaleur utilisée est de 34 unités ou $\frac{1}{20}$ ou 0,05 de la chaleur fournie par la chaudière.

De là il conclut que ces machines ne rendraient, la première que 3 p. 100 et la seconde que 5 p. 100 du travail utile que la chaleur peut engendrer.

L'erreur de M. Regnault est de ne considérer que ce qui se passe dans le cylindre et de négliger ce qui se passe dans la chaudière. D'après sa manière de raisonner, une machine sans détente, dans le condenseur de laquelle on retrouve exactement toute la chaleur renfermée dans la vapeur qui sort de la chaudière, n'entraînerait aucune consommation de chaleur. Elle produit cependant un travail considérable; ce serait donc un effet sans cause, une impossibilité, et cependant le fait a été constaté par M. Hirn par de nombreuses expériences. On ne voit pas, en effet, de différence entre la vapeur qui agit par pression pleine et celle qui, dans les expériences de M. Regnault, se rend dans le calorimètre où l'on mesure sa chaleur latente.

Si l'on suppose l'action du foyer brusquement arrêtée, n'est-il pas évident qu'au moment où la communication entre la chaudière et le cylindre vient à s'établir, et la vapeur est lancée dans ce dernier, il se produit une détente de la masse de vapeur contenue dans la chaudière, une consommation de chaleur qui correspond au travail produit. Le travail à pression pleine, qui dans la pratique ne correspond souvent pas à un abaissement de température sensible de la vapeur qui entre dans le cylindre et qui n'est qu'une petite fraction de la vapeur totale renfermée dans la chaudière, n'en consomme pas moins une quantité de chaleur considérable (que l'action incessante du combustible empêche d'apercevoir). Le travail d'un kilogramme de vapeur à pression pleine est PV = 10330 × 1,675 = 17300, ce qui, en admettant E = 140, correspond à la consommation de 123,5 calories. C'est cette quantité de chaleur dont on doit tenir compte, aussi bien que de celle consommée par la détente dans l'intérieur du cylindre, et par suite, quoique la vapeur à sa sortie contienne bien les quantités de chaleur indiquées par M. Regnault, la machine utilise cependant une quantité de chaleur fournie par le combustible plus grande que celle qu'il indique. Ainsi, dans le second exemple ci-dessus, la vapeur entre dans la machine avec 653 calories, mais est de plus poussée de manière à produire un travail par action directe qui correspond à 123 calories. En réalité, les choses se passent comme si elle possédait 653 + 123 = 776 calories. Elle en conserve 619 à sa sortie, la consommation, l'utilisation de chaleur est de 123 + 34 = 157 calories, et le rapport de la chaleur utilisée à celle fournie pour le foyer est $\frac{157}{776}$ ou un peu plus du cinquième. C'est là une machine inférieure à celles qui utilisent de plus longues détentes, mais ce n'est pas une machine absurde comme elle le serait d'après les résultats indiqués par M. Regnault.

Renseignements pratiques. — Nous emprunterons à l'excellent *Guide du chauffeur* de M. Grouvelle les ré-

sultats de la comparaison qu'il fait entre les principaux types de machines à vapeur, d'après les nombreux éléments pour le détail desquels nous renverrons à l'ouvrage original. C'est d'après ces chiffres que l'on doit se déterminer à préférer un système à un autre, en raison du genre d'applications qu'on en doit faire, des circonstances spéciales dans lesquelles on se trouve placé.

GENRE DE MACHINES.	CONSOMMATION de combustible par chev.-vap. (75 kil. mèt par seconde).	COMBUSTIBLE par an pour machine de 15 chev. en argent.	ENTRETIEN. Dépenses par an pour 15 chev.-vap.	TOTAL.
Machines de Wolf à deux cylindres et moyenne pression.	1k,20 à 3k	4,860	4067	8927f
Machines à grande détente et condensation (genre Farcot).	1k,50 à 3k	Très-voisines de celles de Wolf, moins chères d'achat, mouvement produit moins régulier.		
Machines à haute pression pour les petites puissances (genre Bourdon).	3k,50 à 4k,50	9,720	3570	13290f
Machines de Watt à basse pression.	4k à 6k	13,362	4190	17550f

On voit qu'en faisant la somme des dépenses de combustible et d'entretien, ces dernières (comprenant la main-d'œuvre du chauffeur) relevées sur les livres de manufacturiers éminents, dont M. Grouvelle reproduit le détail, il arrive, en les ramenant par une proportion au type commun d'une machine de 15 chevaux, à ce résultat que les dépenses des trois systèmes principaux sont entre elles comme les nombres 6, 10 et 12, pour les pays où la houille coûte le prix admis pour ces calculs, qui est le prix de Paris, et montre que dans ce cas, sauf pour les petites forces et lorsque l'eau manque, auquel cas on doit adopter les machines n° 3, on doit donner toute préférence aux machines n° 1 et n° 2, et repousser absolument les machines n° 4.

La conclusion change, et l'on peut employer raisonnablement les machines à basse pression là où la houille coûte moins de 10 à 12 francs les 1,000 kilog. (et elle coûte beaucoup moins sur le carreau des mines); mais, en dehors de ce cas, la préférence doit être donnée sans hésitation possible aux machines à longue détente et à condensation. Bien entendu qu'il s'agit de machines bien établies, dans lesquelles notamment il ne se produit pas de vibrations par suite du peu de solidité des bâtis ou des frottements considérables par l'emploi de bielles trop courtes, que la comparaison se rapporte aux machines également bien établies.

MACHINES SOUFFLANTES. L'avantage de substituer aux machines soufflantes de grande dimension des machines plus petites, dans lesquelles le piston se meut rapidement, avantage que M. Debette avait si bien fait sentir dans cet ouvrage, antérieurement à l'époque où la pratique les a adoptées, a conduit à modifier les dispositions des puissantes souffleries nécessaires pour la marche des hauts fourneaux. MM. Cadiat et Thomas et Laurens ont construit des machines à vapeur à haute pression et à action directe qui ont donné de très-bons résultats. Ces derniers ont remplacé avec succès, par des tiroirs commandés par la machine, les clapets d'entrée et de sortie d'air, dont l'action est bien moins sûre.

On est arrivé à donner aux pistons, au lieu de 0m,60 à 1 mètre, des vitesses de 3m,25 à 3m,80.

Nous donnons ci-contre la figure d'une construction de ce genre exécutée en Angleterre et fort bien disposée pour une marche rapide du piston (fig. 3649 et 3650) par l'action directe de la machine à vapeur.

En ramenant l'air à 0° et à la pression 0m,76, la quantité à insuffler en une minute par chaque kilog. de carbone solide à convertir en oxyde de carbone dans le même temps, est, d'après MM. Thomas et Laurens de 4mc,41 ; ces ingénieurs ont reconnu qu'un kilog. de charbon de bois, débarassé de 7 p. 100 d'eau, de 2 p. 100 de cendres et de 14 p. 100 de matières volatiles, ne présente plus chargé au gueulard d'un haut fourneau que 0k,765 de charbon solide, exigeant alors 3mc,374 d'air à la tuyère par minute.

Le coke moyen renfermant 5 p. 100 d'eau, 3 p. 100 de matières volatiles et 12 p. 100 de cendres donne 0k,800 de carbone solide par kilog. de coke chargé au gueulard, et exige 3mc,528 pour être converti en oxyde de carbone.

En prévision des pertes d'air on peut, en pratique, injecter 25 p. 100 d'air, en plus de la quantité calculée.

Ventilateur. — Un beau travail de M. Dollfus, inséré dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, permet d'établir ainsi qu'il suit les règles qui doivent présider à l'établissement des ventilateurs :

1° Le diamètre des ouvertures d'aspiration doit être les $\frac{5}{8}$ de celui de l'enveloppe ; il y a avantage à leur donner la forme d'un ovale dont le grand axe est dans la direction de l'échappement.

2° Les orifices de sortie dont la direction est tangente à la circonférence extérieure, ont la même largeur que l'enveloppe, et une hauteur égale aux $\frac{2}{15}$ du diamètre du ventilateur.

3° Le nombre des ailes se règle d'après le diamètre, il est de 4 pour un diamètre de 0m,30 à 0,50 ; de 6 pour 0m,50 à 0,70 et de 8 pour 0m,70 à 1 mètre.

4° La longueur des ailes doit être égale à $\frac{11}{10}$ de la moitié du rayon.

5° La meilleure forme des ailes est celle demi-concave du $\frac{1}{10}$ du rayon, leur direction passant par l'axe.

6° La circonférence de l'enveloppe doit être excentrique par rapport à l'axe ; l'excentricité la plus convenable paraît être celle égale à $\frac{1}{5}$ du diamètre. La largeur de l'enveloppe doit être égale aux $\frac{3}{4}$ du diamètre du ventilateur.

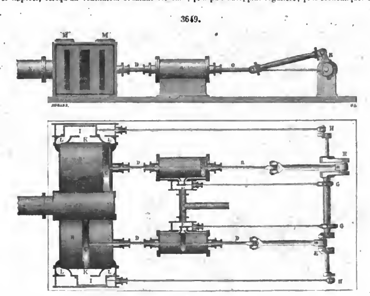
7° Les effets d'un ventilateur croissent comme le carré des vitesses ; comparés aux diamètres, ces effets croissent comme le double des rapports des carrés ; et les effets comparés à la force absorbée augmentent environ dans le rapport de 42 à 36. Il est donc préférable d'employer des ventilateurs de grand diamètre à vitesse moindre que des ventilateurs de petit diamètre à vitesse plus grande.

M. E. Dollfus a reconnu également que la puissance d'aspiration était intimement liée à la puissance d'expulsion, et que les conditions dans lesquelles un ven-

tilateur fournit le plus d'air à la sortie sont aussi celles qui répondent à l'absorption la plus considérable de ce fluide par les orifices d'entrées.

Il importe, lorsqu'un ventilateur soufflant est employé comme soufflerie, de le placer aussi près que possible du point où il doit agir; une grande déperdition se produisant par les résistances qui naissent dans les conduits et celles-ci croissant très-rapidement avec la longueur.

3649.



3650.

On estime qu'un ventilateur soufflant, lançant l'air avec une vitesse assez grande par un orifice réduit, ne rend que 0,20 du travail moteur; il lance environ 6 à 700 mètres cubes d'air à l'heure par cheval-vapeur. Le ventilateur aspirant en donne environ 3700 à 3800 par force de cheval, avec des vitesses réduites à 0m,80 on 4 mètre par seconde. D'après M. Combes, ils donneraient 60 p. 100 d'effet utile, et on courbant les ailes 60 p. 100. Cette courbure des ailes a été peu adoptée par la pratique, jusqu'ici; il n'en sera sans doute bientôt plus ainsi, car elle a été utilisée, avec d'autres ingénieuses dispositions, par M. Lloyd de Londres, pour construire des ventilateurs, qui ne produisent pas, même avec d'assez grandes vitesses, le bruit que produisent les ventilateurs ordinaires. Il parvient à assurer à l'air une vitesse uniforme, pendant une partie de son passage dans l'appareil, en donnant à l'enveloppe extérieure la forme de deux cônes très-évasés accolés par la base.

MACHINES-OUTILS. Pour compléter ce que nous avons dit relativement aux principales machines-outils en traitent des diverses opérations nécessaires pour obtenir avec économie et précision les pièces qui entrent dans les grands mécanismes, puissance et gloire de l'industrie moderne, nous les passerons ici en revue.

Les machines-outils devraient, d'après leur nom, comprendre tous les systèmes qui permettent de mouvoir mécaniquement les outils autrefois mus à la main, de manière à en rendre la production singulièrement plus puissante, plus régulière, plus économique. C'est bien ainsi en effet que l'on admet la définition, et l'on entend quelquefois appeler machines-outils le marteau à vapeur, les machines à river. Toutefois, on s'accorde généralement à désigner plus particulièrement sous le nom de machines-outils les machines qui, pouvant se classer en deux séries, l'une à guides rectilignes, l'autre à guides circulaires, font mouvoir un tranchant, et qui comprennent, savoir : 1° le *dressage* ou *rabotage* des surfaces, le *mortaisage*; 2° le *tournage*, le *forage* et l'*alésage*, le *taraudage* et *filetage*, et la *division des dents d'engrenage*; c'est à ces importantes machines que nous bornerons cette étude complémentaire de ce que nous avons dit à propos de ces diverses machines aux articles spéciaux que nous leur avons déjà consacrés.

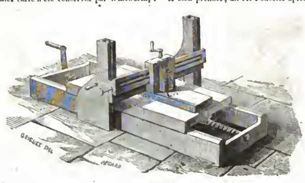
Des machines-outils en général. — Une observation qui avait été faite souvent par les auteurs qui ont écrit sur l'horlogerie, mais que n'avaient pas faite des constructeurs-mécaniciens, trop enclins à croire que la grande construction est née de toutes pièces à la fin du siècle dernier, n'a pas échappé à M. Poncelet. « C'est évidemment, dit-il, dans les ateliers de la grande et de la petite horlogerie qu'il faut rechercher l'origine de la plupart des moyens mécaniques de construction qui, de nos jours, ont tant agrandi le domaine des machines en fer et en fonte. »

En réalité, c'est à la nécessité de fabriquer des pièces de grandeur inusitée exigées par la construction de la machine à vapeur, coïncidant avec l'extension des ressources qu'offrait la fonte de fer que Smeaton venait de démontrer, que sont dus les progrès accomplis dans l'application en grand du fer aux machines et de son

travail par des procédés purement mécaniques. C'est à Soho, dans l'atelier de J. Watt, qui a mérité peut-être autant de la postérité comme ingénieur constructeur que comme inventeur, seul titre qui lui soit généralement reconnu, qu'il faudrait aller chercher le type primitif et la réalisation en grand de ces belles et puissantes machines-outils à aléser, forer, tourner le fer et la fonte. C'est de là qu'elles se répandirent peu de temps après dans les ateliers des Rennie, des Woolf, des Moudslay, des Stephenson, etc., dont les travaux honorèrent et enrichirent l'Angleterre pendant que la France et l'Europe presque entière étaient plongées dans les horreurs de la guerre.

4° *Machines à raboter, à planer.* — Nous compléterons les articles RABOT et MÉCANIQUE GÉOM., où nous avons déjà parlé de ces machines, en donnant ici le dessin d'une petite machine mue à bras, où le mouvement du plateau porte-pièce est imprimé à l'aide d'une manivelle qui fait tourner une longue vis fixée au bâti et traversant un écrou fixé au porte-pièce. C'est aussi à l'aide de petites manivelles et de vis que l'on donne au ciseau les mouvements intermittents, soit de déplacement latéral, soit de descente après chaque passe (fig. 3651).

La vis à filet carré a été conservée par Whitworth,



3651.

le célèbre constructeur anglais de machines-outils, pour ses plus grandes machines, y trouvant une grande douceur et une grande régularité, et il a cherché à faire disparaître le grand inconvénient de ce système, le frottement considérable de la vis dans son écrou. A cet effet, il supprime ce dernier et fait agir la vis sur deux petites roues verticales établies sous une entretoise, et que l'auteur nomme roues *antifriction*, parce que leurs rebords dentelés, en s'engageant dans les intervalles des filets de la vis dont elles reçoivent la pression longitudinale, parallèle et motrice du chariot, sont tellement tracés et disposés, que, sous la simple action tangentielle du frottement des dents, ces roues peuvent tourner librement autour de leurs axes respectifs par lesquels le chariot est poussé, le long de ses glissières latérales, de manière à réduire ainsi, dans une énorme proportion, la dépense de travail qu'entraînerait le frottement direct et tangentiel des filets.

B
C
A
e
f
g
3652.

La grande machine à planer de Whitworth possède deux outils à retournement automatique dans un fourreau très-solide, dont la fig. 3652 montre la disposition. Le burin est assujetti à l'aide de vis dans un cylindre A, qui lui-même est ajusté à frottement doux dans un cylindre B, faisant partie du porte outil de la machine. La partie supérieure du cylindre A porte une rainure hélicoïdale qui coupe toutes les génératrices situées d'un même côté d'un plan diamétral. Le cylindre B porte une rainure verticale *e*, et une barre C porte une partie repliée en équerre qui traverse cette rainure et entre dans la rainure hélicoïdale de A. Le mouvement rectiligne alternatif de cette barre fait, à chaque oscillation, tourner le cylindre porte-outil exactement d'un demi-tour par suite de la longueur convenable de la rainure hélicoïdale.

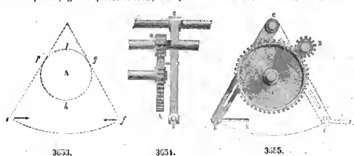
Le mouvement est donné au commencement et à la fin de chaque course du chariot par un embrayage à double effet mis en jeu par des taquets adaptés aux parties glissantes, c'est-à-dire au moyen d'une combinaison de cordelles sans fin et de poulies de renvoi fort ingénieuse, mais aussi passablement compliquée, et qui empêchera peut être de l'adopter généralement, malgré la suppression des temps perdus et la diminution des frottements.

A bien prendre, dit M. Poncelet après avoir rendu pleine justice aux excellentes constructions anglaises de machines-outils que nous montrait l'exposition de Londres, les grandes planeuses à outil mobile imaginées par M. de Lamorinière, exécutées, perfectionnées par des artistes aussi habiles que MM. Pihet, Cavé, Decoster, Calla et autres mécaniciens français distingués, ne paraissent pas devoir le céder aux machines analogues, mais à outils fixes, auxquelles, sans doute, les constructeurs anglais ne continueront pas longtemps à donner une préférence exclusive. Si ce système donne plus de sécurité pour l'excellence du travail quand il s'agit de pièces d'un poids modéré, il n'est plus soutenable quand il s'agit de pièces de dimensions et de poids énormes, de machines de très-grande taille dans lesquelles le porte-outil étant d'un poids considérable, ne peut nullement par suite être déplacé par la résistance du rabotage.

Dans la plupart des machines à planer, l'outil est simplement assemblé à charnières sur le devant du bâti, contre lequel il s'appuie quand la pièce à travailler le rencontre et qui ne l'empêche pas de se relever lorsqu'au contraire celle-ci s'éloigne. Le grand défaut de ce système est que l'on perd la moitié du temps pendant lequel la machine est en mouvement.

Nous avons donné ci-dessus l'élégante solution de Whitworth pour les grandes machines, nous allons donner aussi celle qu'il a combinée pour les petites machines à action rapide, afin de réduire beaucoup le temps perdu par le retour, quand l'outil ne travaille pas. Elle est également fort ingénieuse et montre la fertilité des combinaisons mécaniques que sait trouver un ingénieur expérimenté.

La roue disque A (fig. 3653, 3654 et 3655) est conduite par le pignon B placé sur l'axe de la poulie motrice qui se meut d'un mouvement uniforme. Sur le plat de cette roue est vissée une goupille D, qui entre dans une longue rainure du levier C E qui peut tourner autour du point C comme centre, et qui est lié à son extrémité supérieure par la verge K à la table de la machine à planer. Lorsque la roue A tourne, le levier CE oscille, et la verge K fait marcher en avant et en arrière la table de la machine à planer. Mais ces deux mouvements sont effectués dans des temps très-différents. En effet, la goupille, en tournant dans un sens, décrit l'arc *ghd*, c'est-à-dire dans les conditions de la figure, $\frac{3}{4}$ de circonférence, en passant de *f* en *e*, tandis qu'il ne décrit que *dlg*, soit $\frac{1}{4}$ de circonférence quand le levier retourne de *e* à *f*. Le ciseau travaille pendant le mouvement de *f* à *e*, pendant que la table se meut lentement, et la goupille placée près de l'extrémité du levier est très-bien placée pour surmonter la résistance. Pendant le retour, le ciseau ne travaille pas, la goupille agit à la partie inférieure de la coulisse, et la table revient rapidement à sa première position.



3653. 3654. 3655.

Ainsi, au lieu de la disposition ordinaire, où on emploie $\frac{1}{2}$ du temps pour l'aller, $\frac{1}{2}$ pour le retour, on emploie $\frac{3}{4}$ pour l'aller et $\frac{1}{4}$ pour le retour, ou plutôt en faisant l'économie du retour, le temps de l'aller restant le même, on fait le même travail en économisant $\frac{1}{4}$ du temps de l'opération.

2° *Tour*.

Les ateliers consacrés spécialement à la construction des grandes machines en fer et en fonte ont reçu, dit Poncelet, une vive impulsion dans l'intervalle de 1820 à 1830, et c'est véritablement à partir du milieu de cette période que l'on a vu ce genre d'ateliers se peupler généralement de machines-outils anglaises à travailler les métaux, machines parmi lesquelles on doit citer, comme les plus importantes par l'universalité de leur usage, les tours parallèles à support d'outil ou équipage à chariot, dont l'ingénieuse combinaison de vis servant à fixer la position du burin est due au célèbre Brumah, ingénieur dont les travaux importants ne sont pas estimés en France à leur juste valeur; les tours parallèles à banc, dont le porte-outil peut avoir une course très-étendue, comme dans le tour de l'ingénieur Fox aîné de Derby, tour à plusieurs fins, à roues de rechange, fort compliqué. Tels sont encore les tours automatiques pour tailler les grandes vis à filets carrés, dont l'outil est conduit parallèlement par une même vis; enfin les grands alésoirs horizontaux à tourner, polir intérieurement les grands cylindres en fonte, fixés solidement au moyen de chaînes et dont le porte-outil annulaire, à burins gradués, tournant et glissant avec une lenteur extrême le long d'un noyau creux également fixe, est conduit parallèlement, suivant l'axe même du cylindre, au moyen d'une crémaillère intérieure à contre-poids de recul. Ce système fonctionnait en 1823 dans l'établissement de MM. Manby et Wilson, à Charenton, près Paris; on a depuis préféré en France à ce système importé d'Angleterre une ingénieuse combinaison de vis conductrices à engrenages différentiels.

C'est aussi à dater de la même époque (1825 à 1830) que l'on vit introduire dans nos ateliers de construction ces ingénieuses et élégantes machines à percer verticales; machine qui met en mouvement un équipage de roues d'angle ou de courroies motrices sans fin, à poulies étagées, pour changer au besoin la vitesse de leur arbre, tournant sur lui-même avec une extrême rapidité, au-dessus d'une table en fonte à jour et à vis de serrage, servant de support à la pièce à travailler. Cette table, tantôt mobile verticalement, comme dans les petits ateliers, mais alors susceptible d'être fixée à une hauteur quelconque au-dessous de l'outil, au moyen d'une crémaillère à levier de Lagarousté, tantôt, comme dans les belles machines anglaises des Lewis, des Nasmith et Gaskell, de Manchester, postérieures peut-être, mais aussi préférées à celles qu'on voyait, en 1823, fonctionner à l'aide d'un porte-outil mobile à crémaillère et à fourreau dans l'usine de MM. Manby et Wilson, à Charenton, la table dont il s'agit, véritable plate-forme à jour, était fixée à une hauteur invariable au-dessus du sol, mais pouvait, au besoin, tourner sur elle-même ou glisser le long de guides en fer: l'arbre central du foret, enveloppé également d'un fourreau et terminé vers le haut par une vis à pas serrés guidée par un chapeau glissant entre deux tiges verticales fixes; cet arbre, dis-je, était alors, à son tour, susceptible d'être abaissé graduellement au moyen d'une roue remplissant la fonction d'écrou, et dont la manœuvre était soumise à l'ouvrier par un petit arbre vertical à manivelle inférieure.

A ces dernières machines outils, propres à James Nasmith, on doit ajouter : les anciens et puissants tours de cet habile ingénieur, dont les plateaux circulaires verticaux, à jours multiples et vis de serrage, servent de supports pour maintenir et cintrer les

grandes roues dentées on autres grosses pièces que l'on veut arrondir et dresser extérieurement ou intérieurement; les machines automates à mortaiser verticalement les rainures de calage ou d'embrayage des mêmes roues; celles à manivelles, bielles et volants de Sharp et Roberts; les machines à fendre et tailler, au moyen de fraises tournantes, les roues dentées ainsi que les fortes têtes ou pans d'écrous de Nasmith et de Lewis; enfin les grands alésoirs verticaux à engrenages et vis conductrices intérieures du même James Nasmith, qui avaient été précédés en Angleterre de celui de Billingsley, patenté en 1802.

Est-il bien nécessaire de rappeler ici qu'un bon nombre de ces belles machines et des précédentes trouvent leurs types divers dans les anciens et ingénieux tours en l'air, à pointes et à poupées fixes ou mobiles, à excentriques et mandrins, à guillocher, etc., tours sur lesquels Delahire (1719), de la Condamine et Grandjean (1733), Plumier et Morin (1749), enfin Bergeron, Desormeaux et beaucoup d'autres ont successivement écrit; que ces types se retrouvent aussi dans les platines circulaires à diviser, dans les instruments servant à refendre et arrondir les dents de roues, de Taillemard, des Petit-Pierre, des Frédéric Japy de Beaucourt; enfin dans cette variété d'outils à fraises tournantes et à burin employés à tailler les petites pièces d'horlogerie, depuis que ce dernier et ancien ingénieur essaya, vers 1785, de créer dans le Haut-Rhin ses beaux établissements d'ébauches de montres devenus depuis si considérables.

Entrons dans quelques détails complémentaires de ceux donnés aux articles spéciaux, sur les diverses machines-outils formées par les différentes dispositions des diverses parties du tour, savoir :

Mouvement imprimé au burin : tour à pointes et à mandrin, — tour à fileter. — Mouvement imprimé à l'axe devenu porte-outil : machine à percer, — alésoir. — Mouvement intermittent de la pièce montée sur le tour : machine à tailler les dents.

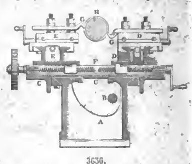
Tour. — Nous n'avons que peu de chose à ajouter à l'article TOUR. Que l'on exécute sur de très-grandes dimensions les tours dont nous avons parlé, que l'on dispose des séries de roues d'engrenage, de manière à obtenir des vitesses variables, et l'on aura les grands tours qui, avec des modifications spéciales, se rencontrent aujourd'hui dans les ateliers de construction.

Nous citerons seulement ici deux importantes dispositions :

La première se rapporte au tour automate à double effet, dont M. W. Fairbairn se sert pour terminer les arbres cylindriques à longue portée et à petit diamètre, dont l'avantage est bien reconnu aujourd'hui pour opérer les transmissions de travail (en augmentant les vitesses). Dans ce tour, une double paire d'outils agissant (fig. 3656) dans des directions parallèles, mais diamétralement opposées, et tendant par là même à former deux couples de forces, où les efforts respectifs de flexion et de vibration se neutralisent en quelque sorte rigoureusement, continuellement, pendant que les supports glissants de ces outils, conduits rectilignement au moyen de vis à pas contraires, partant du milieu de la pièce à tourner, vont en s'éloignant lentement et symétriquement de part et d'autre de ce milieu, pour se rapprocher graduellement des poupées extrêmes du tour.

La seconde se rapporte à la construction de tours pour roues de waggon, que l'industrie des chemins de fer à fait multiplier considérablement. Nous parlerons ici de celui mis à l'Exposition de 1855 par M. Polenceau, et qui pesait 19 tonneaux.

Comme le tournage des roues s'opère sur une circonférence de 3 mètres environ, il faut un outil puissant, et comme les deux roues ne sont reliées que par un essieu qui présente peu de résistance à la torsion, eu égard au diamètre à tourner et à l'importance des



3656.

copeaux qu'il faut enlever pour aller vite, il faut que les deux plateaux du tour, qui conduisent chacun une des roues, tournent parfaitement ensemble.

Jusqu'ici, les tours à roues de waggons avaient été construits dans des conditions analogues aux tours ordinaires, et les deux plateaux étaient directement conduits par un arbre qui avait toute la longueur du banc, et était commandé seulement à l'une de ses extrémités. Cet arbre produisant un grand effort, puisqu'il marchait à petite vitesse, éprouvait un effet de torsion nuisible au travail à faire.

Ces inconvénients disparaissent, grâce aux dispositions adoptées. Le tour dont il est ici question est disposé de manière à recevoir quatre outils. Pendant que l'un des outils fait la jante, celui qui est opposé fait le boudin ou les faces latérales. Les poupées sont venues de fonte avec le banc, afin d'éviter les vibrations. Elles ont en outre très-peu de hauteur. Les porte-outils sont placés sur le banc même, de manière à présenter une très-grande stabilité.

Les deux poupées portent leur mouvement et l'engrenage du pignon à l'intérieur de celui du plateau, de manière à diminuer la vibration due à la prise des dents. Enfin, un arbre, commandé en son milieu, donne le mouvement aux transmissions des poupées. Cet arbre étant commandé en son milieu, et ayant une grande vitesse, n'est soumis qu'à un faible effort de torsion, et d'ailleurs cette torsion étant égale de chaque côté, le mouvement transmis aux deux poupées est parfaitement simultané.

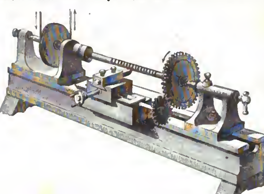
Ce tour fait en moyenne sept paires de roues par journée de dix heures. C'est là un résultat immense, qu'on n'avait pu obtenir jusqu'alors.

Tour à fileter. — Nous donnerons ici la figure de la machine à fileter, dont nous avons parlé à l'article TOUR, et nous entrerons dans quelques détails sur la manière de faire varier les pas de vis.

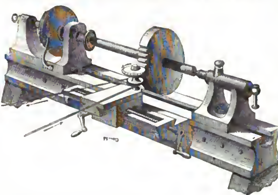
La fig. 3658 représente le tour à fileter, le cylindre à fileter étant monté entre les points du tour et étant mis en rotation par une courroie ou une corde passant sur une poulie solidaire avec lui.

Soit R le rayon de la roue dentée montée sur l'axe des cylindres, r' celui de la roue dentée montée sur l'axe de la vis qu'elle met en mouvement; pour chaque tour de celle-ci, l'écrou avance du pas p de cette vis et trace une fraction d'hélice sur le cylindre (puisque le mouvement rectiligne et le mouvement circulaire sont uniformes). Le pas P de cette hélice sera égal

à $\frac{pr'}{R}$, car les pas de l'hélice qui met l'outil en mouvement et de celle tracée sur le cylindre, sont en raison



inverse des nombres des tours des deux axes pendant le même temps, ou des rayons des deux roues, c'est-



à-dire qu'on a : $P : p = r' : R$, d'où $P = \frac{pr}{R}$.

On obtiendra donc telle valeur qu'on désirera de P en faisant varier convenablement le rapport $\frac{r'}{R}$ par des séries convenables de roues d'engrenage.

Machine et tour à fendre les roues — Nous avons donné à MACHINE A TAILLER LES ROUES une étude fort intéressante et fort bien faite de M. Mathieu, sur la question. Nous nous contenterons de reproduire ici la disposition que l'on préférait en Angleterre il y a quelques années.

Cette machine emploie (fig. 3658) une fraise mue d'un mouvement rapide de rotation qui vient pratiquer une entaille sur la roue à diviser. En faisant marcher cette fraise (montée sur un support à chariot) si sa section est celle de l'entaille, on enlève l'intervalle entre deux dents. Nous avons déjà dit qu'un crochet valait mieux qu'une fraise, celle-ci se cassant souvent. Pour des roues très-larges il y a avantage à raboter les dents tout en conservant le système de division ci-contre, comme l'ont fait, il y a déjà bien des années, MM. Glavet, habiles mécaniciens de Metz.

Si ensuite on fait tourner la roue d'une certaine fraction de circonférence par le mouvement de la plate-forme sur laquelle elle repose et sur laquelle des divisions sont tracées à l'avance, on taillera successivement toutes les dents de la roue.

Si au lieu de roues d'engrenage ordinaires il s'agissait de roues hélicoïdales, d'engrenages de White, il faudrait évidemment que l'outil qui découpe l'intervalle eût un mouvement relatif de translation en même temps qu'un mouvement de rotation, que la roue ou bien l'outil reçût un mouvement composé, étant lié avec une fraction d'hélice tracée sur une partie de cylindre concentrique avec eux.

Nous donnerons ici quelques détails au sujet de la machine proposée à cet effet par MM. Bréguet et Boquillon, d'après le rapport à la Société d'encouragement.

Le principe des engrenages hélicoïdaux consiste à substituer à la denture ordinairement employée, et qui est parallèle à l'axe de la roue, une denture inclinée par rapport à cet axe.

L'angle de cette inclinaison peut varier; White a adopté l'angle de quinze degrés; MM. Bréguet et Boquillon l'ont adopté également, et les expériences de ces auteurs ont démontré que cet angle atteignait bien le but de la pratique.

Leur système consiste à maintenir la roue à tailler fixe dans la longueur de l'axe, et recevant seulement un mouvement de rotation, pendant que la fraise ou l'outil taillant descend parallèlement à l'axe de la roue.

C'est dans la relation entre l'amplitude de chacun de ces deux mouvements, que consiste l'élément de l'exécution de la denture hélicoïde. A cet effet, ils prennent une machine ordinaire à tailler les dents d'engrenage (voy. TAILLER); derrière la bache ou porte-outil qui doit exécuter la denture par son mouvement vertical, ils établissent un arbre horizontal qui porte deux disques que nous désignerons par les lettres A et B, et dont l'un, A, est exactement d'un diamètre triple de celui B; une lame de ressort fort mince est attachée d'un bout à la bache porte-outil, et de l'autre à la surface cylindrique du disque A; une autre lame de ressort enveloppe le disque B, et un troisième disque C, fixé sur l'axe de la plate forme divisée, axe commun à la roue à fendre. La seconde lame dont nous avons parlé est attachée d'une manière invariable sur le disque B; mais, au moyen d'une espèce de pince

avec vis de pression, on peut, à volonté, la rendre solidaire avec le disque C, ou permettre à ce disque de glisser dans la lame qui l'enveloppe. Le disque C est d'un diamètre exactement égal au diamètre de la roue à fendre.

D'après ce qui précède, on conçoit facilement que, lorsque la hache porte-outil descend pour opérer la fente d'une dent, elle fait parcourir à la distance du disque A un espace égal à celui qu'elle parcourt elle-même; que le disque B, dont le diamètre est trois fois plus petit que A, ne donne à la deuxième lame, et par conséquent au disque C, auquel le ressort est dans ce moment fixé, qu'un mouvement trois fois moindre que celui de la hache.

Or, si le mouvement circulaire de la surface cylindrique à tailler était égal au mouvement vertical de la hache, on produirait une denture inclinée à 45 degrés. Le mouvement de cette surface étant, au contraire, au mouvement vertical de l'outil, dans le rapport de 1 à 3, il en résulte nécessairement que la denture sera à l'inclinaison voulue de 15 degrés.

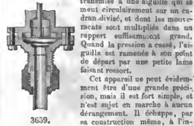
Lorsqu'une dent a été ainsi taillée, on desserre la pince pour rendre le disque C libre dans la lame qui l'enveloppe; on change la position de la roue à fendre au moyen de la division de la plate-forme et de l'alidade ordinairement employée à cet effet; on serre la pince pour rendre de nouveau la lame solidaire avec le disque, et on recommence l'opération pour une autre dent.

Les combinaisons de MM. Bréguet et Boquillon sont simples; elles offrent ce mérite particulier que, quelles que soient les dimensions en diamètre ou en longueur de la roue à fendre (entre les limites, toutefois, que comporte la machine qu'on emploie), aucun changement n'est nécessaire dans les organes du mécanisme, si ce n'est un disque à substituer à un autre; aucun calcul, aucune opération graphique n'est nécessaire; il suffit de mesurer exactement le diamètre de la roue sur laquelle il s'agit d'opérer, et de placer sur l'appareil un disque d'un égal diamètre. La simplicité de cette opération est d'une grande importance et propre à généraliser l'emploi des roues à denture hélicoïde : qui ne sait, en effet, combien peu d'ouvriers se détermineraient à prendre la peine de tracer une épure, quelque simple qu'elle fût, pour l'exécution d'une roue dentée?

M. Théodore Olivier a fait remarquer que, dans l'un et l'autre système employés par MM. Bréguet et Boquillon pour tailler les engrenages cylindriques à dents hélicoïdales, on pourrait très-facilement diriger l'outil, non-seulement parallèlement à l'axe du cylindre à tailler, comme ces messieurs le font, mais que l'on pourrait le diriger de manière à ce qu'il parcourût une droite coupant l'axe de la rondelle à tailler, sous un angle dont l'amplitude pourrait être aussi petite ou aussi grande qu'on voudrait, et alors on taillerait un engrenage conique.

Si l'on faisait parcourir à l'outil une ligne qui, tout en formant avec l'axe de la rondelle à tailler un angle dont la grandeur pourrait varier à volonté, ne couperait pas l'axe de la rondelle, on pourrait exécuter un engrenage hyperboloïdique. (Voir notre *Traité de cinématique.*)

MANOMÈTRE DESBORDES. Dans ce manomètre, la pression de la vapeur s'exerce sur la tête d'un petit piston, par l'intermédiaire d'une membrane de caoutchouc vulcanisé qui est destinée à isoler la vapeur des pièces du mécanisme, comme dans les manomètres de M. Galy-Cazalat (fig. 3659 et 3660). Ce piston agit par son extrémité opposée sur le milieu d'une petite lame d'acier trempé, dont les oscillations correspondent, par leur amplitude plus ou moins grande, à l'intensité de la pression de la vapeur. Pour rendre ces variations plus sensibles, la flexion de la lame est transmise à une aiguille qui se meut circulairement sur un cadran divisé, et dont les mouvements sont multipliés dans un rapport suffisamment grand. Quand la pression a cessé, l'aiguille est ramenée à son point de départ par une petite lame faisant ressort.



3659.

Cet appareil ne peut évidemment être d'une grande précision, mais il est fort simple, et n'est sujet en marche à aucun dérangement. Il échappe, par sa construction même, à l'influence perturbatrice exercée par les vibrations et les secousses, quand il est appliqué à des machines en mouvement, ce qui l'a fait adopter



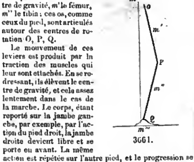
3660.

fréquemment pour les locomotives. Après une longue durée de fonctionnement, ce manomètre a besoin d'être retouché, en raison de l'usure qui peut se produire sur le petit levier en laiton qui reçoit l'action de la lame d'acier. Son peu de complication fait qu'il peut être livré au commerce à très-bon marché, puisqu'on peut l'obtenir au prix de 25 francs et même au-dessous; aussi est-il maintenant très-répandu, tant dans les ateliers industriels que dans les compagnies de chemins de fer.

MARCHE. Les questions de mécanique animale n'ont pas encore été étudiées avec tout le soin qu'elles méritent, je ne dis pas au point de vue physiologique, mais au seul point de vue mécanique. Lorsqu'on voit dans le mécanisme de la patte de homard le joint universel le mieux caractérisé, et qu'on pense que l'invention de cet organe de machine n'a été inventé qu'au dix-septième siècle, il semble qu'indépendamment de son intérêt propre, l'étude des organes des animaux, des insectes notamment, souvent organisés d'une manière si curieuse, pourrait fournir des résultats applicables à l'industrie. Sans doute on ne trouverait rien

qui se rapportât au mouvement circulaire continu, mouvement capital dans les machines et impossible dans les corps organisés (si ce n'est peut-être des moyens de diminuer les frottements des axes de rotation rendus si minimes dans les corps vivants), mais pour ce qui est des leviers et combinaisons de leviers articulés les uns aux autres, on y trouve des modèles variés à l'infini. Nous en indiquerons un cas particulier en analysant la marche chez l'homme.

La fig. 3661, représentant la position de l'homme au départ : *m* étant le centre de gravité, *m'* le fémur, *m''* le tibia ; ces os, comme ceux du pied, sont articulés autour des centres de rotation O, P, Q.



3661.

Le mouvement de ces leviers est produit par la traction des muscles qui leur sont attachés. En se redressant, ils élèvent le centre de gravité, et cela assez lentement dans le cas de la marche. Le corps, étant reporté sur la jambe gauche, par exemple, par l'action du pied droit, la jambe droite devient libre et se porte en avant. La même action est répétée sur l'autre pied, et la progression se produit.

Un curieux résultat des recherches de M. Weber, physicien allemand fort distingué, c'est que le membre inférieur tend à osciller autour de l'articulation O comme un pendule, que la durée de l'oscillation naturelle peut se déterminer d'après la loi du pendule pesant, et que par suite, le pas de marche, qui cause le moins de fatigue, bien moins qu'une vitesse inférieure à celle qui correspond à ce seul mouvement pendulaire, est uniquement en raison de la longueur et du poids de ces membres.

Il en résulte que pour des hommes ne différant que par la grandeur des dimensions respectives de leur corps, tout étant égal d'ailleurs, le pas du plus grand embrassera une étendue plus grande, mais le chemin parcouru ne sera pas pour cela plus considérable, car en même temps la durée de chaque oscillation sera plus grande ; par suite, le nombre des pas dans un temps donné sera moindre.

Ce qui précède fait bien comprendre le peu de travail que consomme la marche en terrain horizontal ; il se réduit presque aux frottements des articulations si parfaites, le centre de gravité du corps ne se déplaçant pas sensiblement, n'éprouvant que des balancements insensibles, et qui ne consomment pas de travail à cause de l'élasticité des supports. Nous supposons, bien entendu, qu'il s'agit d'un terrain incompressible, car il y aurait à ajouter sur un terrain mou, sur la neige, tout celui employé à la compression du sol.

Nous avons supposé que l'action moléculaire qui produit le redressement des leviers se faisait assez lentement dans la marche pour ne pas imprimer au corps une vitesse sensible. S'il en est autrement, si l'effet est brusque et est aidé par le mouvement articulaire du pied qui s'appuie sur le sol, on a le saut. La vitesse acquise par le haut du corps entraîne la séparation momentanée du sol et du corps ; la partie supérieure en mouvement rappelant à elle les extrémités inférieures.

Chez les quadrupèdes, ce sont les jambes postérieures toujours bien plus longues, si on les suppose allongées en ligne droite, que les membres antérieurs, qui projettent en avant la masse du corps pour le saut ou la marche. La disproportion devient considérable dans les races exercées à la marche rapide ou au saut, comme celle des chevaux de course. Les membres postérieurs subsistent presque seuls avec un développement considérable chez les animaux sauteurs tel que le kangourou.

MENUISERIE-ÉBÉNISTERIE. Le travail du bois est fait en général par des artisans dans de petits ateliers, et comme il s'exerce sur une substance qui doit être prise en masses proportionnées à la pièce à fabriquer, et nécessite souvent l'attention de l'ouvrier pour tirer parti d'une pièce de bois strictement suffisante, avec des précautions convenables, on comprend facilement comment les machines ont été peu appliquées au travail du bois.

Dans des cas où il s'agit de fabriquer un grand nombre de pièces semblables, quelques belles industries bien complètes ont été fondées sur le travail mécanique du bois. Je citerai d'abord la fabrication des poulies par M. Brunel, le modèle déjà ancien de l'organisation complète d'une industrie de cette nature rendue entièrement mécanique ; dans ces dernières années, la fabrication des roues de voiture à la mécanique a été également organisée très-parfaitement par M. Philippe, dont nous avons décrit les scieries. C'est, en effet, le perfectionnement de ce mode si rapide de travailler le bois qui a permis surtout de rendre ces diverses fabrications presque entièrement automatiques ; c'est surtout l'emploi de la scie circulaire de Brunel, si facilement conduite et guidée sur un chariot, qui a permis de pratiquer avec rapidité des sillons parallèles. Nous donnons à SCIE le dernier perfectionnement de la scie, l'invention de la scie continue, qui, n'ayant qu'une largeur minime, et mue avec une grande vitesse, est parfaitement propre à obtenir à très-bon marché une foule de formes à génératrice rectiligne que réclame l'ébénisterie.

Un mode de travail du bois, qui utilise très-bien le travail mécanique et a réduit le prix de fabrication des parquets et produits analogues, c'est la disposition circulaire du fer du rabot, le rabot circulaire.

Le rabot, qui a évidemment donné l'idée de la machine à raboter les métaux, est peu propre à être mû mécaniquement. Si on ne cherche pas à travailler plus rapidement qu'à la main, si l'on ne donne pas plus de fer, il est plus simple de laisser à l'ouvrier le soin de pousser le rabot que de l'employer à surveiller une machine ; si l'on donne plus de fer, celui-ci pénètre dans les fibres du bois et le fait éclater. Ces inconvénients sont évités, et la machine réduite à une grande simplicité, si l'on dispose les fers de rabot autour d'un axe tournant, que l'on peut approcher ou éloigner de la surface à dresser, tout en lui conservant un mouvement rapide de rotation. On peut ainsi enlever le bois rapidement, et par la nature de son mouvement le fer ne saurait s'engager dans ses fibres et le faire éclater.

Les machines à percer, à mortaiser peuvent s'établir pour le bois comme pour le fer, et on a vu à l'Exposition de 1855 les machines de l'usine de Graffenstaden, construites avec la même solidité que les machines-outils ordinaires, qui travaillaient le bois avec une rapidité et une netteté remarquables.

Il est clair toutefois que les machines ainsi construites ont un excès de solidité pour le travail du bois, ce qui se traduit par une exagération de prix qui les empêche de pénétrer dans les ateliers de peu d'importance, qui seront toujours les plus nombreux pour le travail du bois. Pour la plupart des pièces, pour les balanciers, les bâtis, etc., la fonte peut parfaitement être remplacée par le bois, et c'est ce qui se fait avec grand succès.

Machine à débiter le bois de placage de M. Garand. — Couper les bois en plaques minces par procédés

mécaniques est une chose fort anciennement connue, surtout pour la boissellerie. L'application au placage en avait également été faite par M. Picot, à une date ancienne, mais ces essais avaient présenté des inconvénients tels que l'ébénisterie en avait toujours repoussé les produits, fabriqués d'ailleurs en petites dimensions et pour des usages assez restreints.

On comprend l'importance qu'il y a, lorsqu'on emploie des bois d'un prix élevé, à ne pas faire de perte comme dans le débitage à la scie, dans lequel l'épaisseur du trait, c'est-à-dire de la perte, se rapproche de celle du bois utilisé.

C'était donc un problème fort curieux à résoudre, s'il était possible, que de remplacer la scie par un couteau qui ne laisse pas de déchet. Voici comment était disposée la machine mise à l'Exposition de 1855 par M. Garand.

Le bois, passé à la vapeur, est placé sur une table horizontale qui s'élève à volonté. Deux crémaillères poussent horizontalement un bâti armé d'une lame de 1m,40 de longueur; cette lame est placée obliquement par rapport au mouvement qu'elle reçoit; à chaque course, elle détache une feuille de bois.

Dans la machine construite antérieurement à la précédente, et sur laquelle nous allons donner quelques détails, le même inventeur s'était proposé de découper les feuilles circulairement, et, à cet effet, il donne au couteau un mouvement de translation, pendant que le bois reçoit un mouvement de rotation.

La grande difficulté était d'avoir un couteau très-mince de tranchant, n'éclatant pas des bois très-difficiles à couper, et cependant présentant une rigidité complète pour ne pas s'engager ou être repoussé. M. Garand l'a bien résolue. Les feuilles sont d'une épaisseur très-égale et fort bien coupées; de plus, le bois n'est pas brisé, ce qui était un point indispensable pour la vente des produits. Il y a donc là un service important rendu à une industrie fort étendue et évitant une perte de matière première d'un prix élevé. Il semble que cette machine offre le seul moyen d'employer en placage certains bois précieux, qui ne se trouvent pas en grandes dimensions et qui par suite ne peuvent être obtenus ainsi que par le déroulement spiral de la feuille. C'est en effet ce résultat qui a fait le succès de cette machine, car le bois gardant, relativement à celui débité à la scie, une certaine élasticité, des fibres longues, exige au placage une meilleure colle et plus de soins au polissage.

Ce n'est guère, dit M. Poncelet, avant les années 1849 à 1851 que les machines construites par cet artiste, avec une remarquable précision, purent fonctionner couramment et d'une manière vraiment profitable au point de vue commercial; ce qui jusqu'alors n'avait point eu lieu pour les petites machines à dérouler le bois de Pape ou de Faveryer, et ce qu'elles doivent principalement à la disposition ingénieuse du couteau, imitée toujours de celle de la varlope, mais où l'on aperçoit de plus, comme dans la scierie de M. Frentz, l'emploi de deux règles biseautées en fer, serrant fortement entre elles la lame effilée et amincie jusqu'auprès du tranchant, tout en l'empêchant de mordre dans la bille de bois au delà de l'épaisseur jugée dans chaque cas nécessaire. Cette épaisseur est ici d'ailleurs réglée par l'avance continue d'un large chariot horizontal en fonte, à patins et coulisses à grains d'orge, conduit parallèlement par une vis centrale, et portant l'outil soutenu, épaulé de distance en distance par de forts étriers postérieurs à vis de serrage, cette fois disposé presque verticalement et tangentiellement à la bille de bois, de manière à agir non plus au sommet, mais latéralement à cette bille, qui, en tournant lentement au-dessus d'une bassine à eau chaude, où elle baigne légèrement, est simplement montée, aux deux bouts, sur de fortes pointes de tour, pyramidales et munies de croisillons variables de forme, de dimension, avec le diamètre de cette même bille, à laquelle, selon la couleur, la contexture ou l'essence, l'application de l'eau chaude et le déroulage qui tend à ouvrir intérieurement les fibres lors du redressement permanent des feuilles destinées au placage, ne laissent pas que de faire subir certaines modifications plus ou moins favorables, et qui probablement se reproduisent, mais avec moins d'intensité ou de persistance, dans le tranchage à plat des bois.

Quant aux arbres moteurs du tour, ils étaient, dans ces premières machines de M. Garand, mis en rotation de part et d'autre de la bille au moyen de rouages dentés solidaires et symétriquement situés, soutenus par des poupées verticales, l'une entièrement fixe, l'autre, à suspension supérieure, susceptible d'être déplacée latéralement ou horizontalement d'après la longueur de la pièce à dérouler, mais dont l'arbre central, fileté à vis, pouvait lui-même glisser, recevoir un déplacement relatif longitudinal dans l'intérieur du moyeu de la grande roue motrice, enveloppant extérieurement les filets de vis, auxquels il était simplement uni par un tenon glissant dans une feuillure rectiligne pratiquée au travers de la partie carrée et saillante de ces mêmes filets. Il est sans doute peu nécessaire d'ajouter que, dans cette ingénieuse machine, l'avance de la vis horizontale, conductrice du chariot porte-outil le long de ses coulisses, est subordonnée à la rotation même de la bille, au moyen d'engrenages, de poulies à cordons sans fin, dont il est toujours facile de faire varier les rapports de vitesse proportionnellement à l'épaisseur qu'il s'agit de donner aux feuilles de placage à dérouler; mais il importe beaucoup, au contraire, de faire remarquer qu'ici la marche de l'outil à inclinaison transversale légèrement variable au moyen de vis de rappel, pour régler la profondeur du mordant ou de la prise, ne serait point suffisamment assurée si, à l'imitation de ce qui avait lieu dans la machine primitive de M. Pape, la partie extérieure ou détachée des feuilles n'était soutenue, au point même où s'opère le déroulement de la bille, à l'aide d'un butoir à talon arrondi dont la position, par rapport au tranchant de l'outil, toujours réglée au moyen de vis de rappel, détermine en réalité l'invariabilité de l'épaisseur des feuilles.

Malgré la complication apparente de la machine à dérouler de M. Garand et sa cherté relative, conséquence inévitable de tout système de construction en fer et en fonte, elle paraît destinée à rendre d'utiles services à l'industrie du placage, du moins si l'on en juge d'après les résultats qu'en obtient depuis plusieurs années M. L. Maréchal dans ses ateliers de la rue de Charonne, à Paris, où une puissance de six chevaux-vapeur, appliquée à une machine de cette espèce, produit journellement, et sans déchet appréciable, des feuilles de plus de 2 mètres de largeur sur 100 mètres de longueur, tirées de billes d'essences diverses, à raison de 30 au pouce, vendues aux ébénistes du faubourg Saint-Antoine et de l'étranger même, sous la forme de rouleaux découpés en volutes ou spirales, et toutes prêtes à recouvrir par le collage des surfaces d'une étendue pour ainsi dire quelconque. Un atelier de pareilles machines, dont le couteau et la bille marchent avec une vitesse relative d'environ 8 mètres par minute, serait capable de livrer la majeure partie des feuilles de placage nécessaires à la consommation d'une ville telle que Paris, si la demande ou la vogue s'en mêlait, et si l'affûtage trop fréquent d'aussi longs outils, pour lequel M. Garand a imaginé une ingénieuse et simple machine où la lame, serrée entre deux mâchoires verticales, passe et repasse horizontalement devant des meules à rotation rapide, n'entraînait des

chômages qui ralentissent considérablement la production, quand on vise à obtenir des feuilles nettement tranchées et d'une épaisseur uniforme dans toute leur étendue ; ce qui suppose des ouvriers aussi intelligents qu'attentifs, outre un biseau d'acier très-aigu, non cassant et néanmoins assez fortement épaulé pour résister dans toute sa longueur à l'inégalité d'action des fibres du bois.

Dans le fait, le système par déroulement, malgré l'avantage de la rapidité, ne paraît pas destiné à remplacer complétement, pour certains bois, le débit par sections véritablement planes, lequel donne lieu à des effets très-différents, souvent préférables et dépendant essentiellement de la disposition des nœuds ou des veines dans les diverses essences ; mais, comme l'emploi des scies dentées entraîne forcément des déchets très-appréciables, on est revenu dans ces derniers temps, avec une nouvelle ardeur, aux machines à trancher à plat, particulièrement favorables aux bois roncux.

MOISSONNEUSE. Nous avons déjà indiqué, à l'article ÉCONOMIE AGRICOLE, la grande importance de la substitution du travail des machines mues par des chevaux aux bras de l'homme dans les travaux agricoles, et notamment de la nouvelle espèce de machine dont nous voulons parler.

Bien des personnes croient que la solution du problème de la construction des moissonneuses est d'invention récente. L'histoire apprend que les Gaulois employèrent longtemps, pour opérer la récolte des blés qu'ils cultivaient, une moissonneuse qu'il faut regarder comme curieuse pour l'époque où elle fut inventée. D'après la description qu'en a donnée Pline, cette machine était montée sur deux roues, et sa partie antérieure, à une hauteur de 1 mètre environ, était armée d'une longue série de petites dents écartées et destinées à couper les tiges du blé. C'était lorsque cette moissonneuse était poussée par un bœuf contre le blé encore debout, que les tiges étaient coupées par les cisailles. Les épis, après cette opération, tombaient dans une caisse placée en arrière des parties tranchantes.

Cette moissonneuse, très-appréciée dans la Gaule, très-commune, au rapport de Palladius, dans les plaines où la paille n'était pas nécessaire à l'existence des animaux domestiques, dut être entièrement abandonnée le jour où l'agriculture reconnut qu'elle devait récolter la paille pour l'employer comme aliment ou comme litière. C'est ce qui eut lieu en effet.

Dix-huit siècles plus tard, elle fixa de nouveau l'attention des agriculteurs. Toutefois, ce ne furent plus les peuples du midi de l'Europe qui la proclamèrent comme indispensable aux localités qui n'avaient plus les bras nécessaires pour exécuter promptement le moisson des céréales. Cette tâche devint la mission des agriculteurs anglais, qui se trouvaient alors dans une position analogue à celle qui avait autrefois si vivement préoccupé les cultivateurs des plaines de la Gaule.

Smith de Deetson, et l'Écossais Bell, eurent le mérite d'apprécier les avantages que présente une moissonneuse bien construite, et d'avancer, par de premiers essais, la solution du problème.

Le manque de bras, dont se plaignaient avec juste raison les Américains, conduisit Mac-Cormick à perfectionner la moissonneuse de Bell. Cette dernière machine était poussée par les animaux contre le blé sur pied, comme celle des Romains. La moissonneuse modifiée, métamorphosée avec tant de bonheur par Mac-Cormick, est au contraire traînée par deux chevaux. En outre, dans cette moissonneuse, les dents, en fer de lance, traînaient, pour ainsi dire, sur la couche arable, afin de pouvoir couper les céréales aussi bas que possible, et ménager par cette disposition toute la paille.

Toute roue, dit le rapport du jury de 1855, qui est traînée sur le sol de manière à y rouler autour de son axe est une machine sur laquelle peut être appliquée une résistance égale à la force de traction. Que cette résistance provienne d'un fardeau placé sur une voiture portée par la roue, qu'elle soit due à un organe mécanique prenant son mouvement sur le même axe et chargé d'exécuter diverses fonctions, les conditions d'équilibre sont les mêmes. De même qu'on ne peut placer qu'une charge déterminée sur les essieux d'une voiture, de même on ne pourra demander à la roue motrice d'une machine à moissonner que des efforts limités.

Qu'on imagine, placée concentriquement à cette roue motrice, une roue dentée venant s'engrener avec un pignon, on aura autour de l'axe de ce pignon un arbre de couche où on pourra venir prendre tous les mouvements à exécuter pour obtenir le résultat demandé ; ces mouvements ont pour but de couper la moisson, de la courber sur une plate-forme ou sur un plan incliné de manière à ce qu'elle y tombe par son poids, de former et de rejeter la javelle sur le sol à côté de la machine.

Les tiges des plantes sont coupées par des scies soumises à un mouvement rectiligne de va-et-vient à travers des guides convenables, ayant en général la forme de fer de lance, propres à réunir les tiges et à écarter les obstacles qui endommageraient les scies. La vitesse dont est animé l'organe tranchant est, en général, la plus grande dans les machines qui ont eu le plus de succès, et beaucoup moindre dans celles de MM. Crosskill, Laurent et Moody, toutes les trois construites en imitation de celle imaginée en 1818 par l'inventeur écossais Bell. On peut donc affirmer que l'idée d'augmenter le vitesse de l'appareil chargé de couper la moisson a contribué à résoudre le problème posé ; c'est là un des perfectionnements dus à M. Mac-Cormick, dont l'invention date de 1831. Le mouvement de va-et-vient est infiniment supérieur, pour obtenir le résultat cherché, à un mouvement circulaire continu tel que celui que Smith de Deantson avait employé dans sa machine de 1808. Malgré la grande vitesse dont il cherchait à douer la scie dont il se servait, Smith n'avait qu'une machine imparfaite, qui avait besoin d'être *lancée* pour faire sa fonction et qui, par conséquent, s'engorgeait au moindre obstacle. Il faut que les sécateurs, dans les machines à moissonner, aient une vitesse considérable, même lorsque la roue motrice ne marche que lentement. Sous ce rapport, il y a encore perfectionnement dans le machine de M. Mac-Cormick par rapport aux inventions antérieures.

C'est M. Bell qui a imaginé de prendre sur l'arbre de couche principal que nous avons indiqué un mouvement nécessaire pour faire tourner l'appareil destiné à courber les tiges de la récolte à faucher. Cet appareil consiste en un moulinet à ailes hélicoïdales qui s'engagent entre les tiges debout, et, en tournant, les infléchissent vers la plate-forme, sur laquelle elles tombent en vertu de la pesanteur, après avoir été coupées par le pied.

Il y a tantôt trente ans, lorsque M. Mac-Cormick eut fait ses premières machines, elles furent importées en Europe. Dans les vastes domaines de quelques parties de l'Autriche, on les employa même avec succès, mais non régulièrement, parce qu'elles se dérangeaient facilement ; elles étaient comme une sorte de réponse toute prête aux exigences des ouvriers moissonneurs, qui eussent vu qu'on pourrait, à la rigueur, se passer d'eux. Mais l'Amérique, qui, n'ayant pas de bras en quantité suffisante, était trop heureuse de faire sa moisson, même imparfaitement, après avoir été sou-

vent dans la nécessité de laisser les récoltes pourrir sur pied ; l'Amérique, dis-je, se mit à employer sur une grande échelle les machines de M. Mac-Cormick, qui en a vendu trois mille cinq cents de 1831 à 1855.

Dans ces machines à moissonner, qui avaient été si appréciées en 1855, les tiges coupées devaient être immédiatement ramassées à l'aide d'un râteau, pour faire glisser la javelle derrière les chevaux, afin que, dans le tour suivant, elles ne fussent pas foulées aux pieds par l'attelage passant à l'endroit coupé précédemment. Cette manœuvre, qui exige une quantité de travail considérable au moment même du travail de la moissonneuse, et qui, par suite, en diminue les avantages, a encore été reportée sur la machine par les habiles constructeurs anglais Burgers et Key. Il fallait en même temps des organes bien légers et bien simples pour ne pas surcharger l'axe moteur et ne pas trop compliquer la machine. C'est un problème qu'ils ont parfaitement résolu de la manière suivante.

Les tiges, à mesure qu'elles sont coupées, tombent sur une plate-forme inclinée, placée à l'arrière de la machine et sur trois hélices horizontales et parallèles, situées à des niveaux différents, mues par des courroies partant de l'arbre. Les tiges coupées reçoivent ainsi un mouvement de translation horizontal qui les conduit presque sur le sol, où elles sont renversées perpendiculairement au chemin que parcourt l'attelage. Ce renversement est dû à la plus grande longueur de la dernière hélice, qui continue à agir sur la partie supérieure des tiges coupées, alors que les autres hélices ont cessé d'agir sur les parties inférieures de ces tiges. Les arbres de ces hélices sont en bois, les spires en métal.

Un cône placé vers l'extrémité de la machine, terminé par un sabot en fer, sépare les tiges qui doivent être coupées, et aide au mouvement de celles qui sont coupées, en les rejetant, par sa rotation obtenue au moyen de courroies qui le mettent en communication avec l'arbre moteur, sur les hélices au-dessus desquelles il se trouve placé.

Le seul reproche sérieux que l'on puisse adresser aujourd'hui aux moissonneuses perfectionnées, c'est de demander une assez grande habileté au conducteur, tant à cause de la complication du mécanisme que des ralentissements que peut produire dans les mouvements tout glissement, tout arrêt de la roue. L'expérience de ces machines fera disparaître le premier inconvénient, et le second s'amoindrit avec les progrès de l'agriculture, le parfait nivellement du sol, l'épierrement, etc. Malgré cela toutefois, ce serait un progrès souhaitable que d'ajouter quelque travail moteur à celui fourni par la traction, pour assurer contre toute irrégularité. Les chevaux le fourniraient facilement, mais sa communication aux organes en mouvement, par une disposition simple, est assez difficile à réaliser. Cela ne nous paraît pas impossible toutefois, et ce sera, sans doute, un progrès que nous verrons obtenu dans un avenir prochain.

N

NACRE DE PERLES. L'illustre physicien sir David Brewster a le premier expliqué les effets d'irisation de la nacre, en montrant qu'ils sont dus à des réseaux fermés de raies très-fines. On ne peut les distinguer à l'œil, car elles sont si déliées qu'il en entre plus de trois mille dans un pouce anglais. La démonstration de ce fait résulte bien clairement de la possibilité d'obtenir les mêmes effets sur d'autres surfaces, en reproduisant ce mode de texture ; cette propriété a même été le point de départ de plusieurs curieuses fabrications. On peut, par exemple, avec de la gomme arabique ou de la colle de poisson solidifiées, déposées sur de la nacre, obtenir une impression très-parfaite de sa surface, qui donne de belles couleurs quand la lumière est reçue soit par réflexion, soit par transmission. Une plaque de colle de poisson comprimée entre deux surfaces de nacre jouit de cette propriété au plus haut degré.

NAVIRES (CONSTRUCTION DE). A l'article BATEAU A VAPEUR, nous avons donné quelques détails sur les principes qui guident pour la détermination des formes des navires. Nous les compléterons en empruntant au rapport du jury quelques indications sur le grand progrès accompli récemment dans la navigation à voiles par un changement notable des formes des navires à grande vitesse, dits *clippers*.

Les clippers ont franchi tout d'un coup les limites de vitesse jusqu'alors réalisées à l'aide de la voile seule. En comparant, pour de longs parcours, leurs moyennes de traversée avec celles d'un navire à vapeur ordinaire, il se trouve qu'elles sont comme 5 est à 7. Qu'est cette différence, en présence de la différence du prix de construction et du prix de navigation? Longs, peu larges, très-creux, excessivement aigus aux extrémités, leur forme se rapproche de celle que l'on donne aux navires à vapeur. En effet, la résistance directe étant plus puissante contre l'avant d'un navire large et court comme les navires à voiles ordinaires, que contre un navire fin de l'avant comme un bâtiment à vapeur, une partie de la force de propulsion donnée par le vent est tout d'abord perdue pour vaincre cette première résistance ; on n'a donc pas hésité, dans la construction des clippers, à sacrifier un ancien principe, celui d'un avant renflé.

En donnant à ces bâtiments un avant au contraire très-effilé, il pouvait advenir que cet avant, sous le poids de la cargaison, tendît à plonger trop profondément dans la lame. On a remédié à cet inconvénient en transportant le maître couple du bâtiment, c'est-à-dire sa plus grande largeur, sur l'arrière du milieu ; le centre de gravité de la carène et celui de la charge se trouvent ainsi sur l'arrière du navire ; c'est cette portion du bâtiment qui tend constamment à immerger, et en même temps, par conséquent, à faire relever l'avant du navire, malgré sa finesse.

C'est dans l'Inde anglaise que les clippers ont pris naissance. Ils servaient depuis longtemps à introduire l'opium en Chine. Les Américains du Nord n'ont pas tardé à les adopter, et les résultats considérables de vitesse qu'ils réalisent, les défis excentriques qui ont suivi leurs premiers succès, sont des faits dont le retentissement a été très-grand dans le monde maritime.

Bien qu'aux États-Unis, dans un pays où les capitaux, confiants dans la marine, ne lui font pas défaut, les clippers soient d'un prix très-élevé, ils se sont cependant multipliés ; les autres nations n'ont pas hésité à entreprendre d'introduire la forme du clipper dans un certain nombre de leurs constructions. Toutes ont saisi de suite l'avenir du navire à grande vitesse à la

voile, et le progrès commercial considérable qui doit en résulter.

Comme bâtiment de mer, le clipper n'offre pas sans doute les conditions de sécurité qu'offre le navire construit selon les anciens errements. C'est ce que l'on peut appeler un bâtiment de beau temps. Sa grande longueur le rend difficile à gouverner; on croit même qu'un clipper engagé ne pourrait pas arriver. Ce sont là de graves inconvénients; mais, même dans leur état actuel, les clippers sont appelés à rendre d'utiles services, et, jusqu'à ce que la navigation à vapeur soit moins dispendieuse, ils sont destinés à envahir les ports de commerce, à mesure surtout que l'expérience apprendra à remédier aux inconvénients que nous avons signalés.

On peut dire que dès à présent cette transformation s'accomplit, et elle se produit chez chaque nation, à peu près dans la proportion de son importance maritime.

Au nombre des transformations qui se manifestent aujourd'hui est celle qui a trait à la longueur des navires. La tendance à l'accroissement exagéré de cette longueur paraît s'arrêter. Dans les clippers, on semble vouloir la limiter à 5 fois la largeur.

Toutefois le *Great-Republic*, ce léviathan des clippers construit à Boston par M. Donald Mac-Ray, et qui fut malheureusement incendié au moment de prendre la mer, avait pour longueur 6, 43 fois sa largeur, proportion que nous croyons très-exagérée pour un navire à voiles.

Celle des vapeurs est très-variable. Les deux compagnies rivales qui font les trajets périodiques entre l'Angleterre et les États-Unis ont, en moyenne, ceux de la ligne Cunard, 7 fois la largeur, et ceux de la ligne Collins, 6 fois 1/4. Cette proportion de 7 fois la largeur a été dépassée par le *Great-Eastern*.

Sans doute ces immenses longueurs ont de grands avantages, commercialement parlant; mais, au milieu des vagues de l'Océan, ces constructions, que l'on peut encore appeler anormales, nous paraissent présenter des dangers sérieux, surtout si la machine, par une cause quelconque, ne pouvait pas fonctionner. Il deviendrait excessivement difficile de gouverner, et, en fait, on peut dire que, à la mer, le salut de navires d'une si grande longueur dépend exclusivement de l'efficacité de la machine. On peut inférer de ces considérations que si la tendance à accroître la longueur des navires reprenait faveur, on finirait par y adapter une petite hélice mobile agissant dans le sens de la largeur du bâtiment, et destinée à le faire évoluer. Aucun symptôme sérieux d'une invention de cette nature ne s'est toutefois laissé voir à l'Exposition universelle.

NEIGE. *Moyens de débarrasser les chemins de fer des neiges qui arrêtent les convois.* — La grande quantité de neige qui tombe souvent l'hiver dans le nord de l'Europe a révélé dans l'exploitation des chemins de fer un inconvénient grave, qui avait été peu prévu à l'origine. Nous voulons parler des arrêts qui résultent de l'accumulation des neiges et qui suspendent d'une manière absolue le seul mode de communication qui subsiste souvent entre deux villes.

Lorsqu'un convoi se meut sur un chemin de fer couvert de neige, sans que l'épaisseur de celle-ci soit considérable, il n'y a à tenir compte que de celle qui recouvre les rails. Pour les en débarrasser on se contente de garnir le chasse-pierres d'un balai qui nettoie la surface du rail, et dont l'action est suffisante si la couche est sans épaisseur. Mais quand il n'en est pas ainsi, le chasse-pierres refoule la neige qui va en s'accumulant en avant; à mesure que la quantité ainsi accumulée devient plus grande, il est de plus en plus noyé dans une espèce de boule de neige, et celle-ci repasse en arrière du balai, dont l'action est pour le moins nulle. Les roues de devant et bientôt les roues motrices tournant sur la neige se mettent bientôt à patiner, l'action de la locomotive pour déterminer le mouvement de progression diminue, et bientôt un plan peu incliné, qu'en temps ordinaire la locomotive franchit facilement, ne peut plus être surmonté, le train est arrêté.

L'action du chasse-pierres et du balai qu'on peut y adapter devient donc insuffisante lorsque la quantité est assez grande pour qu'elle s'accumule en avant au lieu de se séparer par les côtés. Le remède consiste précisément à produire cet effet, et c'est ce qu'on obtiendra en imitant une opération bien connue, celle du labourage à la charrue. Dans cette opération, la terre est retournée à côté de la charrue, de manière à permettre le mouvement en avant, par une pièce courbe appelée *versoir*. C'est un versoir qu'on devrait adapter à chaque extrémité antérieure du châssis, et qui, passant à 4 cent. environ du rail, renverserait de côté toute la neige excédant la quantité que le balai chassera ensuite facilement.

Pour une quantité assez notable, ce système pourra être employé avec avantage, mais il serait évidemment insuffisant dans les cas où les quantités de neige accumulées dans les tranchées sont assez grandes pour les faire presque disparaître, niveler en quelque sorte le terrain. Cela n'est jamais dû, dans nos contrées, à de la neige tombée directement, mais à l'effet du vent qui entraîne la neige horizontalement et vient ainsi l'accumuler dans les tranchées. Le seul remède efficace est dans l'établissement d'abris convenables pour éviter cet effet, et il n'en est pas de plus simple et de plus durable que celui obtenu par des plantations. Nous emprunterons un exemple de la manière d'opérer, des dépenses et des résultats obtenus, à une excellente étude parue dans les *Annales des ponts et chaussées*.

L'effet dont nous venons de parler se produisait avec une intensité remarquable, avant 1849, sur la route impériale n° 82, de Roanne au Rhône, entre Saint-Etienne et Bourg-Argental, sur le plateau dit *de la Republique*, et au grand tournant, près le village de Ruthianga. Dans cette partie de son parcours, la route s'élève de 540 mètres au-dessus du niveau de la mer à 1,140 mètres, pour franchir la chaîne du Pila au col du Grand-Bois; à partir de ce col, elle descend vers Bourg-Argental, en suivant la rive gauche du ruisseau d'Argental, et en se développant sur les versants des ravins secondaires qui se jettent dans ce cours d'eau. Il règne dans ces régions élevées des tourmentes d'une violence inouïe; la neige, soulevée par le vent, se transporte rapidement à des distances considérables et se dépose dans les bas-fonds à des hauteurs de plusieurs mètres; la route disparaissait alors complétement dans la neige, et les voyageurs n'avaient pour se diriger que des pyramides en pierre, construites de distance en distance le long de la route; l'interruption de la circulation avait des inconvénients d'autant plus graves que la malle-poste de Paris à Marseille passait à cette époque par Saint-Etienne, et franchissait le Pila en suivant la route de Roanne au Rhône; l'enlèvement des neiges nécessitait chaque année des dépenses dont le chiffre dépassait souvent 5,000 fr., non compris les crédits spéciaux affectés à ce service par l'administration des postes.

La route était plus particulièrement interceptée sur les plateaux découverts ou sur les versants très-inclinés que rien n'abritait contre les vents du nord; mais au milieu des bois la circulation n'était jamais interrompue; quelle que fût la rigueur du temps, il suffisait d'ouvrir une tranchée dans la neige et le passage se maintenait pendant tout l'hiver. Dans les parties où la route était à découvert, les tranchées se comblaient à mesure qu'elles étaient exécutées, et il fallait souvent travailler nuit et jour pour maintenir la circulation.

La malle-poste ne passait qu'après des efforts incroyables et attelée de dix paires de bœufs ou de dix à quinze chevaux; les habitants du pays et leurs attelages étaient souvent mis en réquisition, et quelquefois inutilement.

L'idée d'abriter la route par des plantations se présenta naturellement. Un projet fut étudié dans ce but en 1847, et mis à exécution quelques années plus tard. Les parties de route où la circulation était toujours interrompue pendant la mauvaise saison ont été défendues par quatre massifs d'arbres verts, d'autant plus épais que le terrain avait une déclivité plus grande. L'épaisseur des massifs varie de 24 à 46 mètres; deux de ces massifs ont été plantés sur le plateau de la République : le premier a 283m,60 de longueur et 24m,70 de largeur, le second a 1,113m,80 de longueur et 27m,68 de largeur. Les deux autres ont été plantés le long du Grand-Tournant, sur un terrain fortement incliné : l'un a 328 mètres de longueur et 44m,88 de largeur, l'autre 213 mètres de longueur et 46m,35 de largeur.

Les plantations, commencées en mars 1849, se sont continuées jusqu'à la fin d'avril 1851; les arbres qui ont été plantés sont des arbres verts de toutes les variétés, tels que épicéas, sapins blancs d'Europe et d'Amérique, pins laricio, mélèzes, etc.; ils sont espacés de 1 mètre les uns des autres; leur hauteur à l'époque où ils ont été plantés variait de 0m,50 à 1m,50; les plus petits forment la première file du côté de la route, et les plus grands en sont les plus éloignés. Tous ont été plantés avec leur motte et livrés à l'administration le lendemain du jour où ils étaient retirés des pépinières.

La surface plantée est égale à 6 hectares 10 ares; la dépense faite s'est élevée à 37,174 fr. 46, soit 6,064 fr. par hectare. Cette dépense se décompose de la manière suivante :

Acquisition de terrain			14,381f,83
1,171m,50 de déblai pour plantation, à	1 111	1,239 42	22,792f,63
42,380 arbres	0 455	19,282 90	
1,767 arbres cassés par la neige	0 455	303 985	
32,227 tuteurs, à	0,0455	1,466 328	
Total			37,174 46

Ces plantations étaient à peine terminées que le résultat dépassait les espérances : dès la première année, la neige, retenue par les jeunes sapins, n'encombrait plus les parties de route qui avaient été protégées. Depuis lors, la circulation n'a plus été interceptée, et avec des dépenses peu élevées il est facile d'ouvrir partout un passage aux voitures, et de le maintenir pendant toute la mauvaise saison. Aujourd'hui, les arbres ont des pousses très-vigoureuses, dont quelques-unes ont dépassé 1 mètre en 1858 : l'avenir de tous les massifs est complétement assuré; chacun d'eux est entouré d'un fossé profond dont les terres ont été rejetées du côté des arbres pour empêcher les bestiaux d'y pénétrer.

Il eût été possible de procéder à la plantation de chaque massif au moyen d'arbres plus jeunes; la dépense eût été beaucoup moindre; mais l'effet produit n'aurait pas été immédiat, et l'expérience faite n'aurait pas été aussi concluante. On peut affirmer aujourd'hui qu'il n'y a pas de localité où il ne soit possible de prévenir les amoncellements des neiges sur les routes au moyen de plantations convenablement disposées, dont la dépense dépassera rarement 20 fr. par mètre courant.

Si néanmoins il fallait protéger une grande longueur de route, il serait avantageux de procéder plus économiquement en plantant des arbres plus jeunes; c'est-à-dire les pins et les mélèzes à deux ans, les sapins et les épicéas à trois ans. L'effet se ferait attendre quelques années de plus, mais le succès n'en serait pas moins assuré; dans ce cas, le prix de revient de la plantation ne dépasserait pas 150 fr. par hectare, réparti ainsi qu'il suit :

10,000 arbres, à 0f,01	100 fr.
Plantation de 10,000 arbres, à 0f,005 l'un.	50
Total	150

Il faudrait ajouter à cette évaluation le prix du terrain, variable suivant les pays.

Le succès des travaux de cette nature dépend surtout du choix des essences résineuses qu'il convient de planter dans chaque localité, et des soins apportés à la plantation des jeunes arbres; il ne sera peut-être pas inutile d'entrer à cet égard dans quelques détails.

Les arbres résineux conviennent particulièrement aux montagnes élevées, froides et venteuses; les pins silvestres aux terrains de toute nature, les pins laricio aux pentes exposées à l'ouest et au midi, les pins maritimes aux sables et aux terrains d'alluvion peu élevés, les pins de lord Weymouth aux terres franches, profondes et abritées du sud-ouest.

Les sapins croissent sur les plus hautes montagnes, dans les terrains frais, profonds, et sur les pentes exposées au nord et à l'ouest. L'épicéa est le plus facile à planter; ses racines multipliées et chevelues facilitent sa reprise depuis la hauteur de 0m,15 jusqu'à celles de 3 mètres. Le mélèze doit être planté dans des terrains légèrement frais et assez profonds, loin des arbres d'essence différente et au midi. Quant aux cèdres, peu de terrains leur conviennent; les pentes exposées à l'est et abritées du nord doivent être préférées, ainsi que les terrains profonds et plutôt secs que frais; ils sont difficiles à la reprise, eu égard à la nature de leurs racines, qui sont longues, cassantes et peu ramifiées.

Les méthodes de plantation varient suivant la dimension des arbres : pour ceux dont la hauteur dépasse 0m,50, les trous doivent avoir 0m,30 carrés et 0m,40 de profondeur; la terre végétale extraite du trou doit être placée d'un seul côté, l'arbre planté avec sa motte et entouré jusqu'au collet de terre ameublie, bien divisée, et le gazon provenant de chaque trou retourné et placé en pied de l'arbre, afin de maintenir une certaine fraîcheur autour des racines; si le gazon manque, on peut recourir à des pierres qui remplissent le même objet.

Les arbres de trois à cinq ans se plantent assez économiquement par deux bons ouvriers travaillant ensemble : l'un fait les trous avec une pioche carrée, et les approfondit avec un outil plus pointu; l'autre plante immédiatement, afin que la terre ne se dessèche pas; il porte les arbres dans un panier couvert, pour les mettre à l'abri de l'action de l'air ou du soleil; il emploie pour la plantation une bêche à manche court, au moyen de laquelle il évide le trou; il y jette d'abord un peu de terre, et y place le plant après avoir écarté les racines dans toutes les directions, en ayant le plus grand soin de n'en retrousser aucune; il les recouvre ensuite de terre fraîche et meuble et termine l'opération en appuyant avec précaution la terre contre l'arbre, soit avec le pied, soit avec le manche de la pioche. Deux ouvriers bien exercés peuvent planter ensemble de 500 à 1,000 arbres par jour.

Les arbres résineux, quelle que soit leur essence, doivent être plantés serrés, à 1 mètre au plus de distance les uns des autres, afin de se protéger mutuellement; il est facile, quand ils ont atteint les dimensions convenables, d'élaguer les moins vigoureux, afin de faciliter la croissance de ceux qui restent.

En résumé, les plantations d'arbres résineux faites

avec discernement préviendront les amoncellements de neige et les dépenses considérables que nécessite leur enlèvement sur les routes où la circulation est interceptée pendant la mauvaise saison. Le succès ne saurait être douteux, si l'on choisit convenablement l'essence qui convient le mieux au terrain à reboiser, à sa nature, à sa profondeur et à son exposition. L'expérience faite depuis quelques années le long de la route impériale n° 82, à des hauteurs qui varient de 900 mètres à 1,120 mètres au-dessus du niveau de la mer, ne laisse aucun doute à cet égard, et a donné dès la première année les résultats les plus satisfaisants.

On peut en conclure que les plantations auront également leur utilité sur les chemins de fer, et remplaceront avec avantage les écrans mobiles que l'on dispose en hiver le long des tranchées profondes et des parties habituellement encombrées par les neiges.

NICOL OU PRISME DE NICOL. Cet appareil fait partie de presque tous les systèmes optiques à l'aide desquels on utilise les phénomènes de double réfraction. Il permet de faire disparaître le rayon ordinaire pour ne conserver que le rayon extraordinaire que l'on veut étudier, résultat obtenu avec une grande simplicité.

Il se construit de la manière suivante : on prend un long parallélipipède de chaux carbonatée, on le coupe en deux par un plan perpendiculaire au plan des grandes diagonales des bases, et passant par les sommets obtus les plus rapprochés ; puis on rejoint les deux moitiés, dans le même ordre, avec du baume de Canada. La lumière qui entre par l'une ou l'autre des bases tombe très-obliquement sur le baume de Canada ; or, son indice de réfraction est plus petit que l'indice ordinaire de la chaux carbonatée, mais plus grand que l'indice extraordinaire ; il en résulte que le rayon ordinaire éprouve la réflexion totale, tandis que le rayon extraordinaire passe pour sortir par l'autre base.

Le *prisme de Nicol* ne laisse donc passer que l'image extraordinaire des objets que l'on regarde. Il devient ainsi un moyen de distinguer l'image ordinaire de l'image extraordinaire produite par un cristal ; il suffit de mettre dans un même plan la section principale du cristal et d'un prisme de Nicol ; l'image unique qui passe est l'image extraordinaire.

Comme il faut que le plan coupant le cristal d'angle en angle forme avec les bases un angle de près de 90 degrés, pour que les bases restent entières, il faut que le parallélipipède obtenu par clivage ait des proportions telles que les arêtes longitudinales dépassent en longueur trois fois celle du côté des bases.

M. Foucault est arrivé à peu près au même résultat en coupant le solide de clivage par un plan moins incliné sur l'axe de figure, en remplaçant le baume de Canada par un milieu moins réfringent.

Il incline la coupe à 59 degrés sur le plan de l'une et de l'autre base, le solide strictement nécessaire se réduit alors au tiers de la longueur qu'il comporte dans le prisme de Nicol, et après avoir poli les nouvelles faces, il remet les morceaux en place, en ménageant entre eux l'épaisseur d'une lame d'air. Ce système fonctionne comme le prisme de Nicol et constitue un polariseur capable d'exercer une action complète sur un faisceau de lumière dont la divergence n'excède pas un angle de 6 à 8 degrés.

O

ORGUES. V. TUYAUX SONORES.

OUTILS COUPANTS. L'histoire des perfectionnements lents et successifs des instruments et machines à outils tranchants, perforants, etc., se lie, dit Poncelet, auteur de cette belle étude, aux progrès mêmes de la civilisation chez les différents peuples, et cette histoire, considérée au point de vue philosophique, critique et descriptif, serait, comme celle des machines à moudre et de quelques autres non moins essentielles, du plus haut intérêt pour l'avancement, le progrès futur des arts mécaniques ; car car il n'est aucun organe dans la classe des opérateurs qui offre des combinaisons aussi ingénieuses, aussi originales et aussi variées, sous le rapport de la forme et des effets physiques, j'ajouterai même, aussi parfaites et qui approchent autant des œuvres du Créateur, dans les instruments naturels de travail ou de conservation répartis aux divers animaux, instruments dont l'homme fut en quelque sorte entièrement dépourvu, et auxquels il dut suppléer par son intelligence, en les prenant parfois pour modèles et pour types d'imitation. Depuis l'origine des sociétés, en effet, nu, à l'état sauvage, il s'est créé, avec le silex et les débris solides des animaux et des végétaux, des armes pour la pêche, la chasse, la guerre, etc., jusqu'à nos jours, où l'on a tant perfectionné, multiplié l'emploi du fer et de l'acier dans une foule d'opérations réclamées par l'état avancé des industries humanitaires ou civilisatrices, les outils coupants ou perforants ont subi les plus étonnantes et les plus admirables transformations, qui toutes ont eu pour point de départ essentiel l'expérience et l'observation, mais où le raisonnement et une sorte de théorie instinctive chez les plus habiles artistes ont exercé une influence non moindre et toujours active.

Qu'y a-t-il, notamment, de plus ingénieux que les ciseaux, les gouges à couteaux courbes, les varlopes, les bouvets servant à creuser, dresser le bois pour y pratiquer des rainures, des languettes et des moulures diverses ; que les vrilles, les tarières, les vilebrequins à lames courbes en cuiller, en hélices ou tire-bouchons dégorgeoirs, déjà connus de Vaucanson, perfectionnés depuis en Amérique, et en Angleterre par M. Church, de Birmingham ; que les grandes et puissantes mèches dites *anglaises*, à pivot central, à couteaux rectilignes, symétriquement appariés et agissant dans des sens diamétralement contraires pour détacher, du fond plat du trou à forer, des lames en couronnes circulaires ou cylindriques, qui s'élèvent ensuite verticalement sous la forme de nappes hélicoïdes, autour de la tige centrale de l'instrument ; mèches qui comportent, en outre, aux extrémités extérieures de leurs couteaux de fond, d'autres petits tranchants perpendiculaires aux précédents, parallèles à la tige centrale, et dont les biseaux aigus détachent incessamment la matière solide des parois latérales du tron cylindrique, par une action qui rappelle celle du coutre avancé de la charrue? Qu'y a-t-il de plus ingénieux encore que ce dernier instrument, réduit à la simplicité d'une ancre chez les anciens, et où l'on remarque aujourd'hui non-seulement ce même coutre, véritable couteau en talus, qui ouvre, fend la terre latéralement et verticalement, mais aussi le soc à sabot triangulaire et appointé qui la tranche

horizontalement au fond plan du sillon; le sep en bois qui en maintient postérieurement la direction rectiligne, par son glissement contre les faces horizontale et verticale déjà formées dans ce même sillon; enfin le versoir latéral en surface gauche, qui, placé en arrière du coutre et du soc, sert à retourner progressivement la motte de terre déjà détachée en dessous et sur l'un des côtés, de manière à la faire, en quelque sorte, pivoter par glissement et déchirement simultanés, sur le côté opposé encore adhérent au sol?

Quant à l'âge ou longue tige en bois, inclinée et directrice, qui surmonte l'ensemble de ce merveilleux instrument, sans inventeur connu et dont le perfectionnement est le fruit accumulé de l'expérience des siècles, on sait assez qu'il a pour but de régler et d'assurer la marche et le piquage du soc et du coutre, en prenant appui, tantôt sur le joug des bœufs comme chez les anciens, tantôt sur l'avant-train comme chez les modernes, ou restant tout à fait libre comme dans l'araire flamand, dont l'âge est simplement maintenu par de longs mancherons postérieurs, que dirigent les puissantes mains du laboureur, de manière que la résultante des forces actives de tirage, etc., vienne se confondre sans cesse avec celle des résistances du coutre, du soc et du versoir, dans la direction rectiligne même du sillon à ouvrir, grâce à la réglementation préalable de la hauteur du point d'attache des chaînes de tirage dans les meilleures charrues. L'agriculture, nommée avec raison la *mère nourricière des hommes*, la coutellerie et la chirurgie instrumentale, tant perfectionnées par les Sir-Henry, les Cherrière, en France, par les Savigny, les Phillp et les Coxeter, en Angleterre, pour la satisfaction de besoins également impérieux, nous offriraient d'autres exemples d'outils coupants, mécaniques ou composés, non moins dignes d'intérêt que la charrue, si ingénieuse dans son apparente simplicité, mais en réalité si savante dans ses principales dispositions et combinaisons.

Quoi de plus remarquable encore que l'ensemble des outils à perforer le sol, aujourd'hui employés dans l'art du fontainier sondeur, et qui, décrits avec tant de soin dans l'ouvrage de notre savant compatriote l'ingénieur Garnier, ont été si heureusement modifiés, perfectionnés et agrandis en puissance ou en dimension par les Mulot, les Degousée et les Kind, que, à leur aide, on parvient aujourd'hui, par des procédés en quelque sorte automatiques, à percer la terre à des profondeurs de six cents à sept cents mètres, pour y découvrir des sources jaillissantes ou d'autres richesses minérales indispensables à l'existence des sociétés modernes?

Enfin la scie droite elle-même, la scie à main, connue des Égyptiens et d'apparence si simple, si primitive, constitue en réalité un instrument beaucoup plus complexe et plus savant qu'on ne le suppose ordinairement, en raison de la forme triangulaire et prismatique de ses dents à évidements alternatifs pour loger la sciure, à taillants inférieurs obliques et dirigés vers le dehors pour trancher latéralement les fibres du bois, tandis que leurs biseaux inclinés antérieurs et leurs sommets pyramidaux avancés s'y enfoncent de droite ou de gauche et alternativement, à la manière des clous, des poinçons, pour mordre, déchirer le fond du sillon, en outre élargi au moyen d'une légère inflexion donnée à la pointe de ces mêmes dents, de part et d'autre de l'axe ou du dedans au dehors, ce qui constitue la voie et supprime le frottement, le pincement latéral et postérieur de la lame de scie, et, par suite, son trop grand échauffement. A ces ingénieuses dispositions il faudrait en joindre d'autres non moins essentielles et relatives, soit à la meilleure inclinaison à donner à ces biseaux dirigés de manière, tantôt à agir, tantôt à glisser sur le bois, sans l'entamer pendant le retour de la scie; soit à la forme même des dents de cette scie, susceptible de varier avec la dureté, l'épaisseur de la pièce à débiter, avec la direction des fibres à trancher, avec la possibilité d'opérer dans chacun de ces cas, à simple ou à double effet, en allant et en venant; différences qui s'aperçoivent très-bien dans les scies à crochets courbes et évidés des scieurs de long, dans les scies à dents isocèles et symétriques des menuisiers, dans le passe-partout à dents doubles ou à cornes dont se servent les charpentiers pour le sciage en travers, etc.

Ces dispositions si variées, si intelligentes, et les moyens mécaniques non moins ingénieux adoptés pour le bandage des lames dans leurs châssis rectangulaires, dans leur monture en arc de ressort métallique, en double T servant d'appui intérieur aux membrures extrêmes contre l'action de la vis ou de la corde de tension, ces dispositions originales et simples sont également dignes d'admiration, et elles supposent, de la part des inventeurs méconnus ou ignorés et des ouvriers qui dirigent le travail de tels outils et en soignent l'entretien ou l'affûtage, une étude non moins délicate qu'attentive et réfléchie.

D'ailleurs leurs combinaisons multiples, en y comprenant même celles qui concernent les instruments employés au travail du fer, du marbre, etc., ne sont pas aussi étrangères les unes aux autres qu'on pourrait le croire au premier abord. Leurs progrès, comme le perfectionnement même des diverses branches d'industrie, sont solidaires, et c'est, à coup sûr, une chose fort regrettable en soi et pour ses conséquences probables, que les auteurs aient autant négligé l'étude de leurs propriétés physiques et mécaniques, surtout en ce qui se réfère proprement à la classe des outils coupants, tranchants et perforants; car, on le sait par maints exemples, la vitesse, la masse, les formes et les proportions géométriques de ces outils jouent, en raison de l'inertie, du frottement et de la résistance de la matière à la pénétration, un rôle bien défini et non moins essentiel que leur élasticité et leur dureté relatives, ou que le degré du poli et le mode de graissage. C'est là tel point, en effet, qu'un simple changement dans l'ouverture, l'inclinaison d'un tranchant, l'altération du poli ou le manque de graissage, peuvent occasionner une déperdition, en travail moteur, variant du simple au quadruple, sans compter les déchets en matière première et les malfaçons, qui viennent justifier le proverbe : *On reconnaît l'ouvrier à l'outil.*

On sait, par exemple, qu'il est tel scieur de bois de chauffage, qui, par la manière d'affûter, de graisser et conduire sa scie, gagne, avec moins de fatigue journalière, trois ou quatre fois autant que tel autre peu intelligent ou inhabile. Ici, il est vrai, l'ouvrier est incessamment averti par sa fatigue même, tandis que, dans les machines conduites automatiquement, rien, pour ainsi dire, ne le guide, s'il n'est pas doué d'un esprit naturel d'observation, de bon vouloir comme surveillant et d'une expérience antérieurement acquise; faute de quoi la machine, malgré la bonté de son installation première, fonctionne mal et dans des conditions très-onéreuses. Or, cela prouve, en général, non pas simplement que l'on doit s'imposer un sacrifice pécuniaire, comparativement très-faible, pour s'approprier un excellent conducteur de machines, ce qui paraît assez évident en soi; mais cela démontre surtout l'importance que pourraient avoir des règles théoriques et expérimentales sur la forme, les proportions, la vitesse, etc., les plus avantageuses à donner, dans chaque cas, aux outils coupants; règles que des expériences en bloc sur l'ensemble d'une machine, telles qu'on en entreprend quelquefois en agriculture ou ailleurs, ne sauraient que bien rarement suppléer et contribuer à établir.

Ces règles, en effet, dont on possède quelques-unes pour les outils à choc ou à compression, à roulement et glissement directs, n'auraient pas moins d'utilité pratique que celles qui se rapportent aux récepteurs ou moteurs inanimés dont les Bernouilli, les Euler, les Parent, les Deparcieux, les Smeaton se sont tant préoccupés à partir de la première moitié du dernier siècle ; car, par une instruction anticipée, elles serviraient tout au moins à abréger la durée de l'apprentissage des ouvriers, des contre-maîtres et des mécaniciens, sinon à préparer les meilleures bases et conditions d'établissement des machines en projet.

A la vérité, on a depuis longtemps fait la remarque capitale que tous les outils tranchants, perforants, etc., participent plus ou moins des propriétés et de la forme du coin ; mais, malheureusement, la théorie de cette machine simple est exposée dans les traités de statique à un point de vue purement abstrait, c'est-à-dire sans égard aux qualités physiques de la matière ou des parties en contact, notamment à l'adhérence et au frottement, qui croissent très-rapidement à mesure que l'angle au sommet du coin diminue, tandis que l'inverse a lieu par rapport à la résistance que l'élasticité et la cohésion de la matière opposent à la séparation des parties le long de ses côtés. Or, la considération des mêmes forces inséparables des effets physiques du coin conduit, dans chaque cas d'application, à d'intéressantes études théoriques et pratiques, relatives au minimum de dépense ou de travail mécanique nécessaire pour atteindre un but déterminé; problème qui se reproduit pour tous les outils tranchants composés, et forme le pendant de celui qui concerne le maximum même d'effet utile des récepteurs dans les machines, mais dont les éléments de calcul ou d'appréciation manquent presque entièrement pour la classe d'opérateurs qui nous occupent : l'établissement mécanique en est effectivement demeuré aujourd'hui même, et pour beaucoup de cas, une affaire d'expériences incertaines, de tâtonnements empiriques et onéreux dans les ateliers qui prétendent sortir des voies de la routine ou d'une simple et servile imitation.

Ces dernières réflexions s'appliquent essentiellement aux machines à découper, hacher, déchirer, pulvériser plus ou moins grossièrement les matières végétales et animales, fibreuses, granuleuses, etc., réduites, amenées, pour certaines d'entre elles, à un état de siccité convenable, au moyen d'appareils à torréfier dont on a vu seulement quelques modèles à l'Exposition universelle de Londres, beaucoup plus riche en machines à scier, à tailler, à travailler diversement les bois, les métaux, les pierres et autres corps durs, à l'aide d'outils parvenus à un degré de perfection fort avancé, parce que, appartenant à des industries déjà anciennes, le besoin s'en est fait aussi plus vivement sentir en raison de la puissance des moyens à employer, de l'excessive fatigue qu'ils occasionnent et de la cherté relative des mains-d'œuvre.

L'expérience a depuis longtemps appris, par exemple, que, dans le travail des métaux et des corps les plus durs, l'angle des taillants doit, à cause de la solidité, être très-voisin de 90°; que, pour les bois, cet angle se rapproche plus ou moins de 30° [1], et qu'il doit décroître ou le biseau s'effiler progressivement à mesure que la substance animale, végétale ou minérale est plus molle, plus mince, plus flexible ou plus déliée. En outre, pour ces dernières substances, et à moins que, agglomérées, elles ne soient très-fortement comprimées les unes sur les autres, cas auquel elles se comportent à peu près comme les solides d'une nature analogue, la vitesse, et, jusqu'à un certain point, la masse même de l'outil convenablement acéré, doivent croître avec la flexibilité, de manière à mettre à profit la résistance due à l'inertie, en joignant, dans tous les cas, à l'action normale ou directe du coin celle du glissement longitudinal du tranchant au travers de la matière à couper, c'est-à-dire de manière à opérer à la façon des scies véritables, dont, comme on sait, les dents sont, même pour les lames de rasoirs, remplacées par une série de crans imperceptibles, donnant lieu à de véritables arrachements et sans lesquels ils ne couperaient que bien difficilement. Ces dentelures microscopiques, comme l'expérience l'apprend encore, ne doivent pas être confondues avec ce qu'on nomme ordinairement le *morfil*, dont les barbes ou aspérités métalliques, irrégulières et extérieures au véritable tranchant, proviennent d'un premier repassage sur des pierres trop vives, et disparaissent par un second repassage des deux faces sur des matières plus fines, plus onctueuses, mais assez grenues néanmoins pour produire, dans des directions anguleuses et convergentes d'une face à l'autre, bien que parallèles sur chacune d'elles, les dentelures microscopiques dont il vient d'être parlé et qui constituent le véritable mordant de la lame. Enfin, on sait que l'inclinaison du tranchant par rapport à la direction naturelle des fibres de certaines substances et sa courbure même peuvent, dans quelques cas, exercer une très-grande influence pour empêcher la matière d'être attaquée sur trop de points à la fois, ou de glisser, d'échapper à l'action, à la pression directe, exercée par l'arête aiguë de ce tranchant. C'est ce qui arrive notamment dans les ciseaux à double branche des jardiniers et des ferblantiers, dans certaines cisailles à couper le fer, la paille, etc., où les biseaux doivent se rencontrer sous des angles dont le maximum dépend essentiellement de celui du frottement des substances en contact, et qui doivent, selon les cas, demeurer constants ou varier seulement entre des limites déterminées.

[1] Voir à l'article OUTILS le principe posé d'après Nasmyth, observant toutefois que le minimum de l'angle de l'outil n'est pas toujours admissible avec de puissantes machines-outils, et que si la petitesse de l'angle de l'outil rend moindre la force nécessaire pour son usage, elle limite aussi l'effort qu'il est possible de lui appliquer.

OUTREMER. Quoique la préparation de l'outremer date déjà de plus d'un quart de siècle, ce n'est guère que depuis cinq années que la fabrication en grand a acquis un certain degré de régularité et de perfection.

Nous croyons être utile, dit M. Stass (*Rapport du Jury de* 1855, auquel nous faisons cet emprunt) à la production en général en faisant connaître le procédé qui est actuellement employé dans les fabriques bien organisées, et qui n'a pas l'inconvénient d'exposer les ouvriers à des émanations sulfureuses. Ce procédé a pris naissance en Allemagne.

Matières premières. — Les matières employées sont le kaolin ou china-clay à l'état de division extrême, le sulfate de soude, le carbonate de soude, le soufre et le charbon de bois. Ce sont là les éléments de l'outremer pur bleu. Pour obtenir de l'outremer violet ou des violets rosés résistant à l'action de l'alun, il est nécessaire de faire intervenir le silex réduit en poussière impalpable.

Les rapports des matières premières varient suivant les qualités et les nuances que l'on veut obtenir. Désire-t-on produire de l'outremer pur bleu ; on doit forcer considérablement la dose du sulfate de soude dans le mélange ; veut-on produire de l'outremer destiné à l'azurage, on doit forcer la dose de carbonate de soude : on peut même supprimer presque entièrement le sulfate, mais alors il est indispensable d'ajouter à l'argile du silex porphyrisé, de manière à ce que le mélange renferme, sur 100 parties de matière argileuse supposée anhydre, 65 parties d'acide silicique et 35 d'alumine.

Voici les rapports qui nous ont été fournis pour la préparation de l'outremer pur bleu :

Argile blanche réduite en poudre impalpable.	37
Sulfate de soude anhydre.	15
Carbonate de soude	22
Soufre pur.	18
Charbon de bois.	8
	100

Suivant les nuances, on augmente plus ou moins le sulfate ou le carbonate, mais en diminuant proportionnellement l'un ou l'autre, suivant l'addition faite. Le bleu est d'autant plus riche et colorant qu'on est parvenu à y fixer une plus grande quantité de soufre à l'état de sulfure sodique. Les plus beaux bleus Guimet renferment de 8 à 10 p. 100 de soufre. Par l'emploi du sulfate de soude, on arrive à ce résultat. Certains outremers violets rosés ne contiennent que 4 à 5. p. 100 de soufre ; aussi résistent-ils mieux à l'action de l'alun.

Pour procéder à la fabrication de l'outremer, on commence par réduire toutes les matières premières en poudre. Elles sont ensuite mêlées. Le mélange tamisé est introduit dans des creusets pouvant contenir chacun de 12 à 15 kilogrammes. Ces creusets, au nombre de 150 à 200, sont placés dans un four et empilés les uns sur les autres, de manière à ce que le fond de l'un serve de couvercle à l'autre. Quand le four en est complétement rempli, ils sont portés *très-lentement* ou *rouge sombre et maintenus à cette température pendant deux fois vingt-quatre heures*. Le règlement de la température est d'une importance extrême, d'elle dépend le résultat de l'opération : si elle est trop basse, la réduction du sulfate en bisulfure ne se produit pas, et l'outremer ne prend pas naissance ; si elle est trop élevée, l'outremer produit se détruit et la masse fond. Pendant la réaction, il se dégage de l'acide carbonique et de la vapeur de soufre qui se transforme en acide sulfureux.

Au bout de quarante-huit à cinquante heures environ, on laisse refroidir le four. Si l'air n'a pas pénétré dans les creusets pendant la calcination et pendent le refroidissement, il s'est produit de l'*outremer vert*, mêlé de bisulfure de sodium ; dans le cas contraire, une partie de l'outremer vert et du sulfure sodique est passée, sous l'influence de l'oxygène de l'air, à l'état d'outremer bleu et de sulfate de soude. Dans l'un et l'autre cas, si l'opération a été bien conduite, le mélange se présente sous la forme d'une masse à peine agglutinée, très-friable. On extrait ensuite cette masse des creusets, on la lave à l'eau pour enlever toutes les matières solubles. Après dessiccation, la poudre verte obtenue est introduite soit dans de grands cylindres de fer ou de grès, soit dans des fours qui ont la forme des fours des boulangers, et soumise là à une température qui ne doit pas dépasser le rouge le plus sombre. Sous l'influence de la chaleur, il se fait une absorption d'oxygène, une certaine quantité de soufre se brûle, et se transforme en acide sulfureux qui devient libre. Malgré ce dégagement, l'*outremer vert*, en se transformant en *outremer bleu*, augmente très-notablement de poids. Quand on opère cette transformation dans des cylindres, il est indispensable de remuer constamment la masse pour renouveler les surfaces, afin de mettre successivement tout l'outremer déjà chauffé au contact de l'air. Lorsqu'on se sert d'un four, on peut se dispenser de renouveler les surfaces, à cause de la moindre épaisseur de la couche ; l'air, dans ce cas, pénètre suffisamment toute la masse. On laisse l'outremer ainsi exposé jusqu'à ce que l'on ait obtenu le maximum de coloration. Ce terme s'atteint quelquefois en quelques heures ; d'autres fois, il faut une demi-journée de *torréfaction*. L'outremer, pendant qu'il est chaud, paraît le plus souvent terne ; il acquiert un plus grand éclat pendant le refroidissement.

Sous l'influence de la chaleur et de l'air, une certaine quantité du sulfure sodique combiné s'est oxydé et s'est transformé en sulfate ou en hyposulfite, mais le plus souvent en hyposulfite. Il arrive aussi souvent que du sulfure de sodium et de la soude deviennent libres. L'outremer obtenu doit donc être soumis à un nouveau lavage, qui doit être excessivement soigné, car la présence des hyposulfites et du sulfure sodique lui communique des défauts très-considérables, au point de vue de tous ses usages. L'enlèvement complet de tous ces sels, même par l'eau chaude, est parfois excessivement difficile à obtenir manufacturièrement. Aussi trouve-t-on souvent dans le commerce que les outremers les plus beaux exhalent une odeur d'acide sulfhydrique, ou que, mis en contact avec un sel métallique, ils communiquent à celui-ci une teinte grisâtre ou ardoisée, défaut énorme quand il s'agit de leur emploi dans l'impression sur tissus mordancés à l'aide de sels métalliques. On observe également que quelques outremers d'une grande richesse en matière colorante exhalent de l'acide sulfhydrique lorsqu'on les mêle à de l'huile de lin. Ce dégagement est quelquefois assez grand pour incommoder le peintre qui se sert de cette matière colorante. Nous devons ajouter que presque tous les outremers bleu pur exposés, et nous dirons *même les plus beaux*, présentent à un degré plus ou moins prononcé ce défaut. Quelques-uns, enfermés dans des bocaux, exhalent spontanément une odeur d'acide sulfhydrique ; d'autres perdent leur couleur pure, qui devient ainsi légèrement ardoisée quand on les mêle à du blanc de plomb et de l'huile de lin. Il n'y en a même que trois qui aient conservé dans cet essai la pureté de leur teinte. D'autres enfin ont produit une véritable effervescence d'acide sulfhydrique lorsqu'on les a incorporés à de l'huile de lin siccative.

En attribuant à un lavage insuffisant les défauts que nous venons de signaler, nous sommes bien loin de prétendre que certains outremers, les mieux lavés, ne les offrent pas à la longue. Nous sommes même disposés à admettre ce fait, mais il ne se présentera qu'autant que, dans la préparation de l'outremer, on aura employé *trop de sulfate* et *pas assez de carbonate* de soude, afin d'obtenir des nuances d'un bleu très-pur ou d'un bleu très-légèrement teinté de vert et excessivement éclatant.

L'eau dont on se sert pour opérer le lavage doit contenir le moins possible de matières étrangères, et notamment de sels de chaux, qui ont le défaut de se déposer sur l'outremer et de lui enlever une partie de son éclat. Quelques-uns des outremers exposés renfermaient ainsi du carbonate calcaire, au point de produire une effervescence d'acide carbonique par leur contact avec une solution d'alun.

L'outremer tel qu'il résulte du lavage est très-grossier, quoiqu'il ait été préparé avec les matières les plus divisées, mais il jouit d'un éclat très-vif et d'une intensité de couleur extraordinairement grande.

Pour le rendre propre aux différents emplois, il est indispensable de le porphyriser. Généralement, on exécute cette opération en le broyant sous des meules horizontales de silex. Le broyage terminé, il est convenable de le soumettre à un nouveau lavage, qui souvent enlève des matières solubles qui ont échappé en premier lieu ou qui se sont produites par l'opération du broyage. Il ne reste plus alors qu'à abandonner l'outremer à la dessiccation de l'étuve.

De toutes les matières colorantes, il n'y en a aucune dont la consommation soit aujourd'hui aussi considérable que celle de l'outremer artificiel. L'inaltérabilité de l'outremer bleu pur, sous l'influence de l'air, de l'eau, de la lumière, des matières grasses, la richesse de sa couleur, la beauté de sa nuance, l'ont fait employer, dès l'origine de sa découverte, pour la peinture

à l'huile, à la miniature, à l'aquarelle. Quand son prix a été abaissé, ces mêmes qualités l'ont fait rechercher pour les impressions sur tissus, pour les impressions typographiques et lithographiques, pour la fabrication du papier de tenture, pour la peinture murale. La propriété que possèdent les outremers violacés, et surtout les outremers à reflet rosé, de résister plus ou moins à l'action de l'alun, a permis de les utiliser pour l'azurage des papiers dans le collage desquels entre l'alun. La faculté dont jouit l'outremer, quand il est d'une très-grande finesse, de se tenir en suspension dans l'eau plus longtemps que ne le font la plupart des autres matières minérales bleues, l'avantage qu'il a sur le bleu de Prusse de résister à l'action des alcalis, le font employer exclusivement aujourd'hui pour l'azurage des tissus, des fils, du linge, etc. L'inaltérabilité de l'outremer vert, par les alcalis et par les vapeurs ammoniacales, le fait rechercher pour la fabrication du papier vert de tenture, pour les impressions sur papiers et sur tissus, pour la peinture murale et pour le badigeonnage en vert.

Tous ces usages réunis portent sa consommation actuelle à 2,500,000 kilogrammes, représentant une valeur moyenne de 5,000,000 de francs, car l'outremer de première qualité qui, dans l'origine de sa découverte, se payait 600 francs le kilogramme, se vend aujourd'hui, en Allemagne et ailleurs, 2 fr. 20 cent. environ, et, en France, 3 francs et au delà, par suite du système protecteur. D'après des indications fournies par M. Guimet, il existerait aujourd'hui en Europe environ quatre-vingts fabriques d'outremer, dont la plupart se trouvent en Allemagne.

La production de l'outremer artificiel est incontestablement une des applications les plus belles et les plus fécondes de l'analyse chimique. Elle a donné naissance à une industrie considérable, répondant à un besoin réel de la société; elle a ouvert ainsi une voie nouvelle à l'activité humaine; elle a créé de plus une source de richesse et de jouissances. L'initiative de la fabrication de l'outremer artificiel appartient, sans contestation aucune, à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale de France; elle en a été réellement la promotrice, en proposant un prix pour cette découverte et excitant les recherches de M. Guimet, qui l'a remporté.

P

PAIN. On est sur la voie de perfectionnements importants dans la préparation du pain; il est bien curieux de voir les progrès de la chimie, en permettant de mieux analyser les composés végétaux et les fermentations auxquelles elles donnent lieu, permettre d'améliorer des procédés contrôlés et modifiés par une expérimentation si multipliée qu'il ne semble pas croyable qu'il y ait encore quelque chose à faire.

Le progrès dont nous voulons parler surtout est celui que poursuit M. Mège-Mouriès, et qui se rapporte à la meilleure utilisation de la partie du blé (du blé du Nord surtout, car elle manque presque dans les blés du Midi) qui sert à faire le pain bis, produit très-inférieur et dont la coloration n'est pas due uniquement au son mélangé avec la farine, comme on pourrait le penser après un examen superficiel.

On reconnaît en effet bientôt que le pain bis est en réalité plus foncé qu'il ne devrait être si sa teinte propre était uniquement due au son disséminé dans sa masse; que sa saveur est tout autre que celle du pain blanc mélangé avec une matière inerte, comme serait le son considéré comme analogue à de la sciure de bois, enfin la mie en est compacte, humide, dénuée d'élasticité.

C'est à cause de ces effets que la mouture n'a pas pour seul objet d'écraser le blé et d'en séparer le son, mais qu'il faut employer les procédés décrits à MOULIN pour séparer les gruaux, les farines de qualités successives, ne provenant pas des mêmes parties du grain.

Dans l'état actuel, la mouture et le pétrissage sont deux opérations aussi compliquées l'une que l'autre, et, chose singulière, elles semblent avoir été amenées à ce degré de complication, non pas tant pour écarter le son lui même que pour combattre un ennemi caché dont l'influence produit les altérations qui distinguent le pain bis du pain blanc. M. Mège-Mouriès a découvert dans le son une espèce de ferment qu'il nomme *céréaline*, et qui, au lieu de produire franchement la fermentation alcoolique sur laquelle on compte pour alléger la pâte, transforme l'amidon en dextrine, la dextrine en glucose, la glucose en acide lactique et même en acide butyrique. Elle altère ainsi profondément le gluten, qui est indispensable pour communiquer de l'élasticité à la pâte. Sous son influence, le gluten abandonne de l'ammoniaque et donne naissance à une matière brune qui se rapproche de l'ulmine, et ressemble bien plus à un produit de décomposition qu'à une substance alimentaire. Si l'on admet qu'un principe qui accompagne le son, mais qui peut en être séparé, est capable d'engendrer dans une pâte en fermentation les acides lactique et butirique, de l'ammoniaque et une matière brune quasi putride, le tout aux dépens de l'amidon et du gluten des plus belles farines, le pain bis semblera tout autre chose qu'un aliment terni par des pellicules inoffensives, ce sera un produit réellement inférieur au pain blanc et détérioré par les ravages de la céréaline. Du reste, deux faits très-concluants, et dont le rapprochement rehausse la portée, sont venus confirmer l'opinion de M. Mège-Mouriès.

Par un traitement facile à appliquer, M. Mège-Mouriès purge le son de la céréaline sans en changer l'aspect; ce son est introduit dans une pâte en proportion qui, dans les circonstances ordinaires, donnerait certainement du pain bis. Ce pain étant cuit, on trouve qu'il est resté presque blanc, que la mie présente seulement une légère teinte jaunâtre, seul effet qui puisse résulter de la présence des pellicules qu'on retrouve à la loupe.

Les farines bises elles-mêmes peuvent donc donner du pain blanc si l'on parvient à attaquer la céréaline, à la rendre inactive et à séparer les pellicules par une opération mécanique.

M. Mège-Mouriès réussit effectivement à paralyser le principe nuisible; mais, pour que ce résultat s'obtienne d'une manière économique, il est nécessaire de remanier en entier le traitement qu'on fait subir au blé dès le moment où il va passer à la mouture. Le blé est broyé en une seule fois et partagé en trois parties : le son qu'on rejette, la farine de première qualité et les gruaux impurs. A ces gruaux on fait subir une fermentation vineuse à basse température, dans quatre parties d'eau additionnée de glucose et de levûre de bière. La fermentation dissocie les gruaux, décompose

la céréaline et la réduit à l'inaction. Pour séparer le son abandonné par le gruau, on tamise le liquide et on s'en sert comme de levain pour faire la pâte avec la farine de première qualité. Par ce moyen on simplifie la mouture, on laisse tomber en désuétude la série empirique du levain de chef, du levain de première, du levain de seconde, du levain de tout point, et l'on convertit en pain blanc toute la substance assimilable du grain, à l'exception de quatre ou cinq centièmes qui restent adhérents au son. Somme toute, cette méthode doit élever le rendement du blé en farine de première marque de 70 à 80 pour 100, et supprimer le pain bis de la consommation.

PAPIER. Dans son si excellent et si complet article sur la fabrication du papier, M. Hanriot a bien fait comprendre l'impossibilité de trouver des substances du règne végétal aussi avantageuses pour la fabrication du papier que les chiffons de chanvre et de lin, si bien préparés, en quelque sorte, par de nombreuses lessives. Toutefois, la rareté des chiffons, leur insuffisance relativement à la consommation sans cesse croissante du papier, a fait multiplier dans cette voie les recherches, dont les résultats sont dignes d'intérêt, car ils seront sûrement quelque jour le point de départ de très-importantes industries. Nous en empruntons l'exposé à une intéressante brochure de M. Van den Corput, professeur de chimie au Musée royal de l'Industrie à Bruxelles.

« Le moyen qui dut naturellement se présenter, dit-il, fut de chercher à *remplacer les chiffons*, devenus rares, *par d'autres matières formées comme ceux-ci de cellulose à l'état fibreux*, et possédant la même propriété de se feutrer en feuilles minces, tout en étant d'un prix moins élevé.

« Vers la fin du siècle dernier, la Convention nationale fit faire dans cette direction de nombreuses recherches que l'intérêt privé a depuis continuées, et des récompenses considérables ont été récemment encore proposées en Angleterre et en Amérique, par quelques grands journaux tels que le *Times* et le *New-York-Herald*, pour la découverte d'une substance qui pourrait avantageusement remplacer le chiffon.

« Il ne manque point de matières filamenteuses renfermant dans leur tissu les éléments propres à la confection du papier; mais, dans la plupart, les fibres se trouvent agrégées de telle manière, que l'obstacle à leur emploi se rencontre surtout dans la difficulté d'isoler les filaments qui les constituent et de les amener à un degré convenable de blancheur sans attaquer leur organisation intime. D'autres ont reçu des applications différentes, desquelles ce nouvel emploi les détournerait, sans avantages bien marqués. Quelques substances enfin sont d'un prix trop élevé, au moins dans nos contrées, pour que l'on puisse sérieusement songer à les appliquer à la fabrication du papier.

« Toutefois, les recherches sérieuses qu'ont suscitées les prix proposés en France par la Société d'encouragement ont conduit à ce résultat important, que certaines plantes, très communes dans nos climats, pourraient être amenées, par des manipulations convenables, à fournir des papiers dont quelques-uns jouissent de qualités peu différentes de celles du papier de chiffons

« Le *foin*, l'*ortie*, le *houblon*, la *mauve*, le *chiendent*, la *réglisse*, la *guimauve*, les *tiges de pois, de haricots, de sarrasin*, les *joncs*, les *roseaux*, l'*écorce de tilleul*, les *brindilles de hêtre, de saule, de tremble*, les *lichens*, les *feuilles de châtaignier*, l'*ulex marine*, les *fanes de pommes de terre*, les *tiges de maïs*, sur lesquelles le docteur Pallas attira le premier l'attention, celles de l'*artichaut*, si abondamment cultivé aujourd'hui aux environs d'Alger, ont successivement été proposés comme matières ouvrables pour la papeterie; mais la plupart de ces végétaux ne donnent que des papiers de qualité assez inférieure.

« Cependant, à en juger par la quantité de brevets qui, chaque année, sont sollicités pour la découverte de matériaux propres à la fabrication du papier, il semble que la généralité des intéressés n'a aucune connaissance des nombreuses expériences qui ont été antérieurement entreprises dans ce sens. Mais il suffit, pour se convaincre de l'ancienneté de la plupart de ces prétendues découvertes, de jeter les yeux sur un livre très-curieux dont un exemplaire se trouve déposé au British-Museum de Londres. En effet, ce livre, écrit en langue hollandaise et publié en 1772, est imprimé sur soixante-douze espèces de papiers provenant d'autant de matières différentes, et témoigne, par conséquent, d'une manière matérielle, irrécusable, des nombreux essais qui ont été tentés depuis longtemps pour trouver des succédanés aux chiffons.

« La *paille*, qui constitue le chaume des graminées, fut utilisée pour la préparation du papier, dès l'année 1756, par un fabricant allemand, et en 1800 le marquis de Salisbury présenta au roi d'Angleterre un livre imprimé sur papier de cette matière.

« Proposée de nouveau, au commencement de notre siècle, par Arm. Séguin, elle paraît être, malgré la dureté que lui donne son épiderme siliceux, l'une des substances qui se blanchit le mieux et qui donne, au moins sous ce rapport, les résultats les plus favorables.

« C'est particulièrement en Allemagne, en Angleterre et en Belgique, que cette nouvelle industrie s'est perfectionnée. Il existe dans ces pays depuis plusieurs années et aussi en France et à Saventhem, près de Bruxelles, des fabriques de papier de paille dont les produits trouvent, comme papier d'emballage, un placement avantageux par leur bas prix et leur solidité relative.

« Les pailles employées pour la confection des papiers peuvent être divisées en deux classes, celles des divers blés : froment, orge, seigle, etc., et celles des légumineuses, telles que pois, haricots, lentilles, auxquelles on peut joindre la paille du colza, qui a été également proposée, etc.

« La *paille de maïs* a été aussi récemment préconisée comme l'une des substances les plus propres à remplacer le chiffon. D'après les essais qui ont été faits à la papeterie royale de Prusse, elle paraît fournir un papier d'une solidité remarquable, circonstance qui rendrait son emploi précieux pour le papier destiné aux actes officiels, si cette matière ne laissait quelque peu à désirer sous le rapport de la blancheur et de la pureté. Son application est du reste loin d'être neuve, car, dès le dix-septième siècle, il existait dans les environs de Rimini un moulin à papier qui ne travaillait que la *paille de maïs*, et dont les produits acquirent une grande réputation.

« La préparation de la paille de blé ou de maïs consiste à faire bouillir, sous une pression de six à huit atmosphères, la paille préalablement hachée, avec une forte lessive caustique contenant environ cinq parties de soude pour cent de la quantité de pâte sèche. Ces lessivages, qui ont pour but d'enlever la silice à la paille et d'en désagréger les fibres, doivent être ordinairement réitérés, et il importe, après chaque opération d'exécuter avec beaucoup de soin des lavages à grande eau. Le contact de la lessive alcaline avec la cellulose a pour effet de donner à celle-ci une coloration plus ou moins brune, mais il est aisé de la lui enlever en partie, en passant la matière effilochée dans un bain d'acide contenant trois parties d'acide sulfurique pour cinq de soude employée. Le blanchiment ordinaire fait le reste.

« Quant aux nœuds que présente le chaume des graminées, leur résistance plus grande exige qu'ils soient écrasés sous des cylindres spéciaux. Dans quelques fabriques on sépare les nœnds de la paille, d'abord hachée en fragments très-petits, au moyen du vannage, ce qui permet de les traiter à part. Le défilé obtenu par les procédés ordinaires est ensuite blanchi au chlore ou aux chlorures de chaux ou de soude, dont on peut augmenter la force en y ajoutant, sur la fin de l'opération, un peu d'acide sulfurique, ou mieux, d'acide chlorhydrique.

« Tel est, à quelques légères modifications près, le mode opératoire auquel peuvent être ramenés la plupart des procédés qui ont été brevetés pour la conversion directe en papier des fibres végétales de diverses natures.

« La paille ainsi traitée fournit une pâte d'un éclat remarquable et qui, jusqu'à un certain point, c'est-à-dire pour quelques qualités de papier, peut se passer d'un mélange de chiffons; elle ne réclame même qu'un collage léger. La paille de froment est celle de toutes qui donne le papier le plus beau.

« Nous avons dit que le *foin* pouvait être converti en papier. La plupart des graminées qui le constituent, telles que les *phalaris*, les *dactyles*, les *carex*, *l'arrhénathère*, etc., fournissent, en effet, 30 pour 100 environ d'une fibre qui n'offre pas, il est vrai, une grande résistance, mais qui se blanchit aisément. Le *ray-grass* en donne 35 pour 100.

« Les parties fibreuses qui demeurent comme résidu dans la fabrication du sucre de betteraves pourraient également être utilisées avec avantage à la fabrication du papier, après avoir été convenablement effilochées en charpie ténue.

« Mais de toutes les matières indigènes propres à intervenir comme succédanées aux chiffons, les *joncs* (*juncus effusus*, *serratus* et autres), ainsi que les *orties* (*urtica urens*, *dioica*, etc.), sont les plus convenables pour la fabrication d'un papier de bonne qualité. L'ortie donne 25 pour 100 d'une fibre magnifique qui se blanchit aisément, et, d'après M. de Claussen, les *roseaux*, qui contiennent 40 pour 100 de cellulose, fourniraient deux fois plus de matière propre à être substituée aux chiffons que la paille de lin, par exemple. — Enfin, il y a quelques années, lord Berriedale tenta en Angleterre, mais sans succès, la préparation d'un papier de *chardon*, et un brevet fut accordé en France à M. Beretta pour la fabrication d'un papier avec le résidu de la *pomme de terre*, après l'extraction de la fécule.

« La fabrication du papier repose, comme on sait, sur la désagrégation régulière et sur la division des fibres végétales qui, ayant épuisé leur emploi comme matière textile, ont déjà subi une usure par laquelle leurs fibrilles s'assouplissent et se prêtent ainsi au feutrage en feuilles minces et blanches d'une texture égale, présentant tout à la fois de la ténacité et de la flexibilité.

« La désagrégation de ces fibres, que l'on obtenait autrefois en soumettant les vieux chiffons de toile à une sorte de fermentation ou de *pourrissage*, s'effectue aujourd'hui d'une manière beaucoup plus rapide par l'*effilochage*, au moyen de machines spéciales, à cylindres broyeurs, que les Hollandais ont, les premiers, introduites dans la fabrication du papier, il y a une centaine d'années.

« On avait coutume, avant cette époque, pour produire l'effilochage, de soumettre les chiffons pourris à un battage prolongé dans des baquets appelés *piles*, et de les passer sous des pilons ou des marteaux mus par un moulin spécial. Les fibres du chiffon conservaient par ce moyen une plus grande résistance, mais ce dernier avantage était bien compensé par la perte de temps et par l'augmentation de main-d'œuvre qui en résultait.

« Cependant, le procédé du pourrissage, par lequel on abandonnait pendant trois ou quatre semaines les chiffons coupés et rassemblés en tas dans un lieu humide, à une température capable d'y développer un travail de fermentation qui attaquait les substances accompagnant la cellulose, sans altérer celle-ci, pourrait être conservé, comme opération avantageuse, dans la fabrication directe du papier à l'aide de certaines matières végétales présentant une très-grande dureté ou une très-forte cohésion. — Les vapeurs acétiques ou lactiques et parfois ammoniacales qui se dégagent pendant cette putréfaction contribuent à la dissolution des matières étrangères à la fibre proprement dite, telles que l'albumine végétale, les résines, les matières grasses, extractives, etc., qui concourent avec la cellulose à former le tissu végétal; et c'est vraisemblablement pour avoir abandonné d'une manière trop absolue cette opération préliminaire, laquelle n'empêche point d'ailleurs de soumettre ensuite les matières à l'action des raffineuses, que beaucoup de tentatives, dans le but de transformer certains produits fibreux en pâte, ont avorté. — Cette pratique, si elle exige un temps plus long, apporte au moins une notable économie dans les frais d'œuvre. Aussi la transformation en pâte des nœuds de paille, par exemple, exige, lorsque ceux-ci sont travaillés à part, jusqu'à huit traitements successifs, pendant vingt-quatre heures, par des lessives formées d'une partie de potasse et de 50 pour 100 de chaux caustique. Il en résulte des frais qui, jusqu'à présent, rendent l'exploitation de ce produit très-peu lucrative; mais on diminue notablement ces dépenses en abandonnant la matière pendant environ un mois au pourrissage.

« Il me souvient avoir vu, pendant le voyage médical que je fis en 1856 avec M. le docteur baron Seutin, en Algérie, dans une fabrique de papier récemment élevée sur les bords de l'Arrach, au milieu de la pittoresque vallée de la Mitidja, où, par parenthèse, ses murs froids et maussades, surmontés de la prosaïque cheminée, formaient un étrange contraste avec la nature chaude et poétique du paysage environnant; il me souvient, dis-je, avoir vu la méthode du pourrissage appliquée avec succès par l'intelligent auteur de l'entreprise, M. Rifaud, à la fabrication du papier de palmier nain (*chamærops humilis*), végétal très-commun sur tout le littoral méditerranéen. J'ai rencontré depuis, en Belgique, le même produit végétal à l'état de fibres désagrégées, destinées également à la fabrication du papier, mais je dois ajouter que le négociant détenteur de cette matière en ignorait complétement la nature.

« Le procédé du pourrissage dont nous venons de parler offre toutefois certains inconvénients. Indépendamment de sa lenteur et des pertes d'intérêt qui en résultent, il est d'observation, au moins en ce qui concerne les chiffons, que les pâtes qui proviennent du *pourri* offrent moins de *nerf* que les pâtes *vertes* effilochées directement à la pile. La cause paraît en être que, par la putréfaction, le ligneux perd toutes les matières glutineuses ou pectineuses qui retiennent en partie les pâtes en vert, matières qui contribuent à donner au papier que l'on en obtient ce liant et ce nerf qui pendant longtemps assurèrent la supériorité au papier hollandais fabriqué par la méthode de l'effilochage. Par la même raison aussi, le papier pourri exige un collage beaucoup plus fort que le papier en vert.

« Dans la fabrication directe du papier au moyen des matières végétales dures, difficiles à désagréger, il est, la plupart du temps, indispensable de soumettre les fibres, rendues plus lâches et en quelque sorte plus malléables par un pourrissage préalable, à l'action de

la vapeur, combinée avec les bains de chaux et les lessives de potasse ou de soude. On débarrasse de cette manière la cellulose des matières étrangères et surtout de la chlorophylle, dont la dépouille cette espèce de rouissage, qui a en outre pour effet d'assouplir les fibrilles et de les rendre plus aptes à recevoir leur nouvelle application.

« Parmi les matières végétales susceptibles d'être ainsi traitées, nous citerons encore les feuilles acéreuses des *pins*, qui couvrent d'une couche épaisse le sol des forêts du Nord et qui fourniront sans doute, par la suite, un nouvel auxiliaire appelé à suppléer à la pénurie des chiffons, en procurant ainsi une ressource précieuse aux habitants de ces contrées déshéritées. Cette application nouvelle est d'autant plus probable, que déjà l'on est parvenu à séparer les principes végétaux étrangers à la fibre qui constitue le squelette de ces feuilles, pour préparer avec leurs filaments une matière que l'on a nommée *laine végétale*.

« Cependant, comme nous l'avons déjà dit, le principal reproche que l'on peut adresser à ces produits, aussi bien qu'au bois dont on a fait également du papier, c'est le déchet considérable qui résulte des différentes manipulations qu'ils exigent. — La paille est peut-être, de toutes ces matières, celle qui produit le moins de pertes, puisque, par un travail convenable, on peut obtenir de 70 à 80 de papier pour 100 de cette matière première.

« Il est d'autres substances végétales, au contraire, qui, imprégnées d'une grande quantité d'eau, ne donnent qu'un très-faible rendement. Telle est la *sphaigne des marais (sphagnum vulgare, cuspidatum, etc.)*, qui pourrait fournir une ressource assez abondante aux papeteries dans les contrées paludeuses. Il est à notre connaissance, du reste, que déjà l'on a fabriqué en Allemagne un excellent et solide papier d'emballage composé presque uniquement avec cette plante d'eau douce.

« Les *roseaux* fourniraient aussi, d'après M. Gauthier de Claubry, un excellent papier, d'un très beau blanc et d'un tissu fin et soyeux, auquel on peut donner toutes les qualités du papier de Chine, mais la culture du roseau est assez dispendieuse. Elle ne peut d'ailleurs être exploitée dans les localités boisées, où l'utilisation de la *fougère*, proposée en 1856 comme matière à papier, serait beaucoup plus convenable.

« Enfin, MM. Kœnig et Baüer, de Zell (Bavière), ont dernièrement utilisé une autre plante indigène très-abondante dans nos bois, le *genêt commun (spartium scoparium)*, pour la fabrication d'un papier d'enveloppe fort résistant. On pourrait de même employer le *spartium horridum*, le *spartium villosum* et le *spartium junceum*, dont les Grecs formaient une espèce de tissu à la manière du *sparto* des Espagnols *(genista hispanica)*, qui, lui aussi, fournirait un papier assez bon, quoique d'un blanchiment difficile.

« Dans quelques papeteries françaises, à Grenoble et à Écharcon, on est aujourd'hui parvenu à imiter parfaitement le fameux papier de Chine avec la *filasse de chanvre* ou de *lin* travaillée *en vert*, sans pourrissage ni blanchiment préalable. La transparence du papier que l'on obtient à l'aide de ces matières est due à l'acide pectique ou aux pectates interposés entre les fibres. Dans la papeterie de Pontecchio, en Italie, on fabrique depuis longtemps un excellent papier avec les *sommités de chanvre* sans mélange de chiffons, et les matières glutineuses que fournit cette plante permettent de se passer de l'emploi de la colle. C'est aussi à cause de la présence de ces derniers principes que la *pulpe de betterave*, proposée en 1858 par M. R. Collyer, et dont nous avons déjà mentionné l'emploi, pourrait être utile, mélangée par demi ou par quart avec la pâte ordinaire, en dispensant en partie du collage. M. Goosman a également utilisé dans le même but la pulpe du *sorghum saccharatum*.

« Le papier de *réglisse (glycyrrhiza glabra)*, confectionné en 1826 par MM. Poisson et Julia de Fontenelle, n'a pas besoin non plus d'être collé; il est très-consistant. On pourrait, dans notre pays, substituer à ce végétal propre à l'Europe méridionale, le *chiendent* ou l'*equisetum*, qui fournissent de 15 à 25 pour 100 de fibres de qualité inférieure, mais se blanchissant bien.

« Une multitude d'autres végétaux seraient encore susceptibles de concourir à la confection du papier. Nous avons déjà cité, parmi ceux qui offrent le plus de garantie, le *palmier nain (chamærops humilis)*, si commun dans le midi de l'Europe et dans le nord de l'Afrique. Nous pourrions y joindre, comme plantes exotiques propres à la même fabrication, le *riz*, l'*agave americana*, le *phormium tenax*, la plupart des *aloès*, le *saccharum munja*, le *saccharum zara*, l'*eriophorum daunabacum*, certains *hibiscus*, les écorces intérieures des *corchorus olitorius* et *capsularis*, qui fournissent une pâte très-facile à blanchir, enfin le *bambou* et l'*aralea papyrifera*, que les Chinois font aujourd'hui encore entrer dans la composition de leur papier, ainsi que le *mûrier à papier (broussonetia papyrifera)*, qui sert au même usage chez les Japonais. Cependant quelques-unes de ces matières sont très-difficiles à blanchir.

« Celui de tous ces produits exotiques qui paraît se prêter le mieux à la transformation en papier est la tige de la canne à sucre *(arundo saccharifera)*, qui donne de 35 à 40 pour 100 de pâte très-blanche.

« Certains *varechs*, la tourbe, les *lianes d'Amérique*, les feuilles de *palmier*, ont été également utilisés comme matière à papier.

« On a fait encore depuis longtemps, et à l'instar des Chinois, de nombreux essais pour convertir en papier différents *bois*. En 1838, la maison Montgolfier, d'Annonay, obtint un brevet pour une semblable exploitation. Les frères Montgolfier ont recours au procédé suivant : le *bois de tilleul*, à l'état de sciure, qu'ils choisissent pour cette préparation, séjourne d'abord pendant cinq à huit jours dans un lait de chaux. La sciure est ensuite désagrégée et effilochée dans une machine spéciale; puis, pendant environ dix heures, elle est soumise en vase clos à l'ébullition avec une lessive de potasse caustique. On passe à la presse le défilé qui en résulte; puis on le traite de nouveau par la potasse et enfin par le chlore; après quoi, la pâte est mélangée avec des chiffons et collée à la manière ordinaire.

« D'après des documents dont je n'ai eu connaissance qu'au moment de livrer mon travail au tirage, l'honneur de cette invention appartiendrait à la Belgique. M. Vander Haeghen, bibliothécaire de S. A. Mgr le duc d'Arenberg, m'a communiqué un échantillon de papier assez beau, fabriqué à Bruxelles en août 1771, et obtenu, comme il conste des actes authentiques conservés dans sa famille, au moyen d'un mélange de quatre cinquièmes sciure de bois et un cinquième chiffon.

« Déjà quelques tentatives pour la fabrication du papier au moyen de la cellulose du bois avaient été entreprises au commencement de notre siècle. Dès 1770 même, on fit en France des essais pour fabriquer des papiers au moyen de l'*écorce du mûrier*, et en 1786 le marquis de Villette publiait ses œuvres sur papier de *guimauve*, en plaçant à la fin du volume des échantillons de papiers faits avec vingt autres substances différentes. Nous verrons plus loin que la guimauve a été introduite de nouveau, il y a quelques années, dans la papeterie en Allemagne.

« Bien que divers essais eussent été faits dans ce sens en France et ailleurs, toujours est-il que c'est à un chimiste allemand, M. H. Voelter, de Heidenheim (Wurtemberg), que l'on doit les premières tentatives qui aient abouti, pour la fabrication du papier au moyen

du bois, dont tant de soi-disant inventeurs n'ont fait depuis que reprendre l'étude.

La méthode de M. Voelter se caractérise surtout par le mode particulier de défilage qu'il a adopté. Le bois, divisé d'abord en bûchettes, est broyé dans le sens longitudinal de ses fibres au moyen de meules qui le réduisent en filaments ténus, sans priver la cellulose des traces de matières albuminoïdes qui peuvent y adhérer.

Ce fut naturellement sur les substances ligneuses les plus tendres et, partant, les plus faciles à effilocher, que les essais portèrent. Le *tilleul*, le *tremble*, le *peuplier*, peut-être encore le *marronnier*, sont, de toutes les essences, celles qui se prêtent le mieux à la transformation en papier. Mais le *bois des conifères* présente surtout une fibre très-propre à cette opération. Le *pin d'Écosse*, en particulier, peut fournir 40 pour 100 de pâte; mais les frais nécessaires pour réduire le bois en pulpe et pour le blanchir d'une manière convenable sont malheureusement encore le triple de ceux que coûte le blanchiment des chiffons. La fibre de bois employée seule est, en outre, trop courte et trop molle pour se feutrer de manière à produire un papier suffisamment solide; d'ailleurs, l'absence presque complète de matières protéiniques et glutineuses dans le bois proprement dit sera toujours le principal obstacle à l'emploi de celui-ci, et ce n'est guère au delà d'une proportion de 10 pour 100 que, mélangé avec la pâte de chiffons, il peut fournir un papier suffisamment souple. On paraît cependant être parvenu à utiliser cette matière dans quelques papeteries des États-Unis d'Amérique, et l'on a même fabriqué en Angleterre un papier d'enveloppe au moyen du *tan* mélangé avec une certaine quantité de chiffons de laine.

Quoi qu'il en soit de l'ancienneté de l'application du bois ou de la paille à la fabrication du papier, et bien que les procédés de cette fabrication soient actuellement tombés dans le domaine public, un nouveau brevet fut accordé, il y a quelques années, pour la conversion en papier des écorces du saule et d'autres arbres, ainsi que de la paille, aux sieurs Coupier et Mellier, de Maidstone (Angleterre).

D'après le procédé de ces industriels, la matière première, convenablement divisée, est soumise à l'action d'une lessive bouillante de potasse ou de soude, marquant de 7 à 10 degrés B. Ce premier traitement exige huit ou dix heures, après lesquelles on laisse s'échapper le liquide; puis on lave plusieurs fois à grande eau la matière, qui est ensuite soumise au blanchiment dans un bain d'hypochlorite de chaux pendant l'espace de douze à treize heures. Pour 100 kilogrammes de cellulose, les inventeurs emploient 20 à 25 kilogrammes d'hypochlorite, qu'ils dissolvent dans une quantité d'eau suffisante pour que le liquide marque environ 3 degrés B. La pâte est alors lavée à l'eau bouillante, et enfin mélangée dans la cuve avec une certaine quantité de chiffons.

Les mêmes inventeurs se sont fait breveter également pour un procédé de transformation du bois en une masse pulpeuse, propre à la fabrication du papier, au moyen de l'acide azotique étendu à 5 ou 6 degrés B. Ils soumettent la *sciure de bois*, pendant environ quatre heures, à l'action de cet agent, combinée avec celle de la vapeur; puis ils lavent et font ensuite bouillir le défilé avec une lessive caustique de 2 degrés B.; enfin ils blanchissent la pâte à l'hypochlorite. — L'acide oxalique, résultant de l'action de l'acide azotique sur la fécule que renferme le bois, peut être recueilli comme produit accessoire et séparé par cristallisation, pour être utilisé dans les fabriques d'indiennes, où il est aujourd'hui employé comme mordant.

Mais l'un des succédanés les plus usités actuellement pour remplacer les chiffons de chanvre et de lin est le *coton brut*, qui, depuis quelques années, est de plus en plus employé dans la fabrication des papiers, surtout de ceux destinés à l'impression ou à la lithographie.

Bien que les Arabes eussent déjà fabriqué, dès le onzième siècle, du papier avec le coton cru, à Septa (Ceuta) et à Xetiva, et que l'Allemagne le connût même, paraît-il, dès le neuvième siècle, cette matière première avait été presque entièrement remplacée depuis par les chiffons de chanvre ou de lin. Ce fut en Angleterre que l'on reprit d'abord la fabrication du papier à l'aide des déchets de coton et des résidus des filatures. On utilise même aujourd'hui jusqu'aux balayures des ateliers où se travaille cette substance.

Après avoir été triés et séparés, au moyen de machines spéciales, espèces de blutoirs à dents de loup, des impuretés ou des poussières qui les souillent, les déchets de coton sont soumis au lessivage par la chaux ou la soude caustique, puis à l'effilochage, et passés à la presse pour subir de nouveau un double raffinage et être blanchis dans des cuves de pierre au moyen d'une solution faible de chlorure de chaux. La pâte qui en provient est ensuite collée et travaillée à la manière ordinaire.

M. Oechelhaüser a publié sur l'emploi du coton (*coton-waste*), dans les fabriques du Lancashire, des détails fort curieux, d'où il résulte que l'on peut évaluer à 8 ou 10 millions de kilogrammes la quantité de papier actuellement fabriquée en Angleterre à l'aide de cette substance.

Les déchets des filatures de lin sont utilisés de la même manière.

Parchemin végétal. — Suivant les indications de M. Gaine, l'on parvient à donner au papier l'apparence du parchemin, en le plongeant rapidement dans un bain d'acide sulfurique formé de deux parties en poids d'acide fumant et d'une partie d'eau, lavant ensuite à grande eau, puis faisant sécher. Le papier traité de la sorte prend l'apparence du vélin et acquiert une très-grande solidité. Les feuilles imprimées ou les planches litographiées peuvent être soumises à la même opération, laquelle a pour principal avantage de leur donner plus de résistance aux agents chimiques et une ténacité qui, d'après M. Hoffmann, serait cinq fois plus grande que celle du papier non préparé.

De plus, ce *parchemin végétal*, dont l'usage commence à se répandre en Angleterre, a l'avantage de garantir les actes légaux contre toute falsification, les caractères une fois tracés y demeurant invariables. Mais la préparation de ce nouveau produit demande quelques précautions sans lesquelles la réussite n'est guère possible. Il faut, de toute nécessité, agir sur du papier non collé, à une température de 15°,5 et à un degré constant de concentration de l'acide. Ce n'est qu'en agissant ainsi que le papier acquiert la translucidité, la cohésion et l'imperméabilité du parchemin, sans conserver la moindre trace d'acide libre qui, par la suite, pourrait l'altérer.

Emploi de la glycérine. — Les avantages qui résulteraient, pour le papier d'impression, du mélange d'une grande quantité de ce liquide avec la pâte, au moment du collage, seraient: 1° de dispenser de la *trempe* du papier, opération quelquefois très-difficile, mais qui toujours détériore plus ou moins la feuille en lui enlevant son glacé; 2° de faire sécher instantanément l'encre d'imprimerie, et de prévenir ainsi l'altération qu'éprouve l'impression fraîche par le frottement. Elle aurait, en outre, pour résultat de donner plus de souplesse au papier et de lui permettre de recevoir plus aisément l'empreinte des lettres.

Pour comprendre le mode d'action de cette substance,

il importe de connaître sa nature et ses principaux caractères.

La glycérine est un corps gras, neutre, de consistance oléagineuse, non volatile aux températures ordinaires, incolore ou légèrement jaunâtre, d'une saveur sucrée très-prononcée à laquelle elle doit son nom, et qui l'a fait utiliser tout récemment en Angleterre pour l'édulcoration des sirops et des limonades.

Cette dernière propriété peut, d'après les expériences que j'ai faites pendant le cours de mes études sur les papiers, être mise à profit comme moyen fort simple et à la portée des industriels, pour constater si un papier est ou non préparé à la glycérine. Ce moyen, essentiellement pratique, repose sur la saveur sucrée de la glycérine et sur sa parfaite solubilité. Un papier glycériné, humecté avec la langue, lui laisse une saveur sucrée manifeste que n'offre jamais un papier non préparé. C'est donc là un moyen distinctif aussi prompt et aussi facile à appliquer que l'est le simple mouillage pour distinguer le papier collé. La glycérine, quoique dérivée des graisses, diffère de tous les autres corps gras dont elle tire son origine, en ce qu'elle est soluble en toutes proportions dans l'eau et l'alcool, mais insoluble dans l'éther; c'est à sa miscibilité parfaite avec l'eau, et par suite avec la pâte du papier, qu'elle doit de ne point rendre celui-ci translucide et de ne point le tacher à la manière des corps gras.

Cette substance, qui est appelée à jouer un rôle important dans les arts et dans les applications industrielles, peut s'obtenir en grand et à bon marché, comme produit secondaire, dans la préparation des acides gras, soit au moyen de la distillation avec la vapeur d'eau surchauffée, soit au moyen de la saponification.

C'est par la nature même de la glycérine, qui se rapproche de celle des huiles, que nous nous expliquons les effets que sa présence exerce, dans le papier, sur l'encre grasse d'imprimerie. Ses molécules interposées dans le tissu de la feuille rendent, par leur affinité pour l'excipient gras de l'encre, la pénétration de celle-ci plus facile et en déterminent l'intussusception pour ainsi dire instantanée dans le papier. Il en résulte nécessairement une dessiccation plus prompte, et par conséquent aussi une adhérence plus intime des particules charbonneuses à la surface de la feuille.

La glycérine, d'après cette manière de voir qui nous paraît être la seule rationnelle, n'agirait que comme lien entre l'encre d'imprimerie et le papier, dont elle augmenterait en quelque sorte la réceptivité. Ce serait donc en vertu d'un phénomène d'imbibition, analogue à celui sur lequel se fonde la préparation de certaines encres d'écriture indélébiles, que le papier glycériné se montrerait avantageux, avec cette différence, toutefois, que c'est ici la glycérine qui exerce son affinité sur l'encre en la faisant pénétrer plus intimement dans les pores du papier, tandis que dans l'écriture indélébile, c'est l'encre, au contraire, qui pénètre plus profondément dans le papier à l'aide de l'acide chlorhydrique étendu ou des lessives alcalines que l'on y ajoute pour la rendre ineffaçable.

Mais la glycérine, par sa fixité et par son inaltérabilité, autant que par le pouvoir dissolvant considérable qu'elle possède, offre encore d'autres avantages dans son application à la fabrication du papier. Il semble, en effet, qu'en s'harmonisant avec le savon de résine de la colle végétale, elle donne plus de souplesse à la substance du papier, qui, par cela même, peut admettre une plus forte quantité de kaolin. C'est du moins ce qui résulte de quelques recherches que j'ai faites; car, d'après l'analyse à laquelle j'ai soumis un échantillon de papier glycériné qui m'avait été remis par M. Bols, j'ai trouvé à ce produit la composition suivante :

Eau hygroscopique	3	pour 100.
Résine et traces de glycérine	4	
Cendres (silicate d'alumine, etc.)	29,50	
Cellulose (filaments végétaux)	63	
Perte	0,50	
	100,00	

On voit donc que ce perfectionnement, s'il offre son côté utile, est en même temps favorable à la fraude.

PARACHUTE. On donne aujourd'hui le nom de parachute à des appareils employés surtout dans les mines pour empêcher la chute d'une tonne, lors de la rupture d'un câble.

Ces appareils, comme les roues à déclic et à rochet, d'un usage si ancien, les butoirs à ressort d'encliquetage, si ingénieusement disposés par M. Dobo, etc., constituent, comme le fait remarquer le savant M. Poncelet, autant de moyens de s'opposer au mouvement de recul, par une action spontanée du mécanisme, résultant de l'arc-boutement énergique des tasseaux, lequel donne lieu, comme les montre la théorie du frottement, à une résistance bien autrement absolue que n'en comportent des freins modérateurs, dont le dispositif, emprunté aux anciens moulins à vent, présente aussi, en raison de l'étendue, de la continuité des surfaces d'appui, de la sûreté et de la facilité de la manœuvre en l'un ou l'autre sens, de bien grands avantages. D'autre part, ajoute M. Poncelet, je ne dois pas laisser échapper l'occasion de faire remarquer que, déjà en 1721, Claude Perrault proposait, en termes assez obscurs, il est vrai, sous le nom de *main mécanique*, d'*analemme*, un système de tasseaux-butoirs qui, en s'arc-boutant de part et d'autre sur une corde verticale en charge, l'empêchent de rétrograder d'une manière absolue, tout en lui laissant la liberté de cheminer en sens contraire : le seul cas où la corde devient complétement libre correspondant à celui où l'homme de service, appliqué à une tiraude verticale, oblige les tasseaux à s'ouvrir, contre l'action de ressorts, d'un angle que limitent d'ailleurs des brides transversales unissant, avec jeu, les têtes ou sommets butants de ces tasseaux.

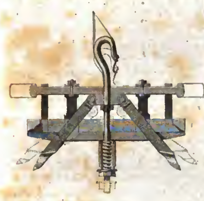
Revenons à l'objet spécial de cet article :

La descente et l'ascension journalières par des échelles dans les puits de mines profonds occasionnent aux ouvriers mineurs des fatigues qu'ils deviennent incapables de supporter à un âge peu avancé, et qui, dans la période active de leur vie, absorbent une partie du travail musculaire qu'ils sont susceptibles de fournir. Aussi préfèrent-ils descendre et remonter dans les tonnes mises en mouvement par les machines qui servent à l'extraction des minerais. Cette pratique donne lieu à des accidents nombreux causés par les ruptures de câbles, les chocs de tonnes l'une contre l'autre ou contre les parois des puits. On en a éloigné le retour en s'assurant fréquemment du bon état des câbles, et surtout en guidant les tonnes au moyen de longuerines en bois ou de tiges en fer établies dans toute la hauteur des puits. On a aussi remplacé les tonnes dans plusieurs mines de premier ordre par de grands appareils exclusivement destinés à l'ascension et à la descente des ouvriers. Ce mode d'introduction et de sortie des ouvriers n'est pourtant pas tout à fait exempt de dangers; d'ailleurs l'appareil occupe un puits tout entier ou au moins une grande partie d'un puits; il exige une machine spéciale; il coûte, en conséquence, assez cher et ne peut être appliqué qu'à des mines d'une très-grande importance.

M. Machecourt a publié, en 1845, la description d'un parachute qu'il avait appliqué aux tonnes dans un puits de mine de houille de Decize (Nièvre). Cet appareil, interposé entre la tonne et le câble auquel elle est suspendue, est formé de deux barres de fer

qui se croisent et tournent, à peu près comme les deux branches des ciseaux de tailleur, autour d'un même boulon horizontal. Lorsque le câble de suspension est tendu par le poids de la tonne, les deux barres se croisent sous un angle peu ouvert, et les extrémités de leurs branches inférieures sont maintenues à une petite distance des longuerines en bois qui guident la tonne. Des ressorts tendent à augmenter l'ouverture de cet angle; mais cet effet est empêché par des chaînes qui rattachent les extrémités supérieures des barres à un point du câble de suspension situé plus haut. Le câble vient-il à se rompre, sa tension cesse, les ressorts deviennent libres d'agir; les extrémités inférieures des barres du parachute viennent s'appuyer contre les longuerines en bois dans lesquelles elles pénètrent par une arête tranchante, et la tonne reste suspendue au parachute, qui est ainsi accroché aux longuerines-guides. L'usage de cet appareil ne s'est pas répandu, malgré la publicité qui lui avait été donnée.

En 1849, M. Fontaine, chef d'atelier aux mines d'Anzin (Nord), a installé dans un puits, dit *Fosse Tinchon*, un parachute fondé sur le même principe que celui de M. Machecourt, mais dont la construction est mieux entendue. Dans le parachute Fontaine (fig. 3662),



3662.

les deux barres de fer terminées par des griffes, qui doivent, au besoin, pénétrer dans le bois des longuerines-guides, tournent autour de deux boulons horizontaux parallèles, portés par une sorte de chape invariablement fixée sur une tige verticale en fer qui est accrochée au câble de suspension. Lorsque la tonne est portée par le câble tendu, les bras du parachute forment entre eux un angle dont l'ouverture est limitée, de manière que les griffes ne touchent pas les longuerines. Le câble vient-il à se rompre, l'action du ressort à boudin tire vers le bas la tige et tout l'appareil parachute. Il en résulte infailliblement un plus grand écartement des bras en fer, dont les griffes viennent s'enfoncer dans les longuerines. Un chapeau en tôle, heureusement ajouté par M. Fontaine à son appareil, recouvre la cage et reçoit la portion du câble inférieur à la section de rupture, qui, sans cela, tomberait sur la tête des ouvriers et pourrait les tuer ou les blesser grièvement.

Le parachute Fontaine avait déjà, en 1854, sauvé la vie à seize ouvriers; l'appareil a toujours très-bien fonctionné dans des cas très-différents.

En cas de rupture du câble, l'arrêt a lieu après des intervalles de temps et de chemin parcouru assez courts. Le choc qui pourrait se produire, si la vitesse devenait considérable, est en réalité assez faible, et ses effets pourraient être encore beaucoup diminués en plaçant les ouvriers sur des planches portées par des ressorts ou par l'emploi de dispositions susceptibles de produire un effet analogue.

PARFUM. M. Milon, chimiste fort habile, a fait, en Algérie, d'intéressantes recherches sur les procédés d'extraction des parfums des fleurs. M. le maréchal Vaillant a fait connaître ses procédés à l'Institut par une curieuse communication que nous reproduirons ici.

« Déjà plusieurs de nos colons africains ont réussi dans la production des essences, et leurs échantillons ont été appréciés; mais pour tirer un bon parti des fleurs, on doit incorporer leur parfum à l'huile ou à l'axonge, et cette opération très-compliquée exige des huiles et des graisses d'une grande finesse, en même temps qu'elle nécessite des installations dispendieuses. D'autre part, comme on n'emploie pour la fabrication des parfums de première qualité que des fleurs parfaitement fraîches, il faut que la production de celles-ci se groupe et se concentre, en quelque sorte, sur le point même où l'exploitation fonctionne. Or ces conditions, que nous voyons réunies à Grasse, sont difficiles à réaliser en Algérie, où cependant les fleurs précieuses, telles que la cassie, le jasmin, la rose, la tubéreuse, croissent parfaitement.

« M. Milon a cherché à modifier les procédés actuels de l'exploitation des fleurs, et à les rendre d'une pratique facile pour l'Algérie; il y est parvenu en extrayant tout le parfum des fleurs à l'aide de divers dissolvants volatils et surtout de l'éther. Il réduit ainsi la partie aromatique de la plante à un très-petit volume, de telle sorte que 1 gramme d'extrait, provenant de 1 kilogramme de fleurs, aromatise au même degré les corps gras, et, sous un poids mille fois moindre, produit les mêmes effets. Ce n'est pas encore le parfum pur et isolé de toute autre substance; mais cette limite suffit à l'art de la parfumerie, et, à la faveur des nouveaux produits, on remplace des manipulations laborieuses par un simple mélange ou par une dissolution que l'on peut faire en tout lieu et au moment que l'on juge le plus convenable.

« Comme cette méthode d'extraction conserve le parfum avec fidélité, on peut substituer la préparation et l'arome même de la fleur à ces mélanges d'essences avec lesquels on imite très-imparfaitement les parfums naturels. Ces dernières compositions, la plupart assez grossières, sont souvent la cause du peu de succès que la parfumerie obtient près des consommateurs délicats.

« Les recherches de M. Milon lui ont fourni l'occasion de faire une étude nouvelle des parfums, substances très-distinctes de la plupart des essences, et qui se caractérisent surtout par leur inaltérabilité à l'air. Ainsi, des couches minces de parfum, étalées au fond de tubes ouverts, se conservent pendant plusieurs années sans déperdition sensible. La proportion de parfum contenue dans les fleurs est tellement faible, que si l'on cherchait à l'isoler complétement et à le purifier, son prix surpasserait celui de toutes les matières connues : pour certaines fleurs, 1 gramme de parfum coûterait plusieurs milliers de francs. Les Orientaux consentent déjà à payer l'essence de jasmin, malgré son odeur empyreumatique, jusqu'à 750 et 800 francs l'once. »

PEIGNEUSE HEILMANN. Les plus grandes difficultés que présente la filature des substances filamenteuses, dit le rapport du jury de l'Exposition de 1855, proviennent de l'inégalité de longueur des filaments et des boutons qui y sont adhérents; ces difficultés ont,

pendant de longues années, fait le désespoir des industriels qui se livraient à la filature du coton, à celle de la laine peignée, et elles étaient d'autant plus sensibles que l'on cherchait à produire un fil d'un numéro plus élevé. On avait beau faire éplucher à la main à grands frais, passer aux cardes une nappe extrêmement fine, on ne se débarrassait que d'une partie des boutons, on ne se débarrassait d'aucune partie des filaments courts; les boutons se retrouvaient dans le fil et ensuite dans le tissu; les filaments courts, échappant à l'action des cylindres étireurs, nuisaient à la régularité du fil, et, pour nous servir d'expressions familières aux filateurs, produisaient des grosseurs et des coupures.

Si, il y a dix ans, on avait dit à l'industrie, tout avancée qu'elle était alors, qu'une machine allait être découverte qui, dans la laine, dans le coton, dans l'étoupe de lin, dans la bourre de soie, séparerait les filaments courts des filaments longs, choisissant les derniers avec plus de discernement qu'il ne serait possible de le faire à l'aide des meilleurs instruments d'optique, et mettant à part les premiers, jetant en même temps dans ces filaments courts toutes les impuretés, tous les boutons, de manière que les filaments longs resteraient seuls parfaitement purs, propres à produire un fil uni et par suite un tissu brillant et d'une régularité irréprochable; si, disons-nous, on avait annoncé qu'une pareille machine allait être inventée, il n'est personne qui n'eût répondu qu'une semblable invention serait un prodige, mais que ce prodige n'était point réalisable, et cependant un an après il était réalisé.

En 1846, Josué Heilmann découvre la peigneuse qui porte son nom, machine admirable, dont le principe, aussi nouveau qu'ingénieux, a pu s'appliquer avec le même succès à toutes les substances filamenteuses, en modifiant seulement les dimensions de la machine. La peigneuse Heilmann pour la laine, celle pour le coton, sont aujourd'hui répandues en France, en Angleterre, sur tout le continent. La peigneuse pour étoupes de lin conquit son rang à côté de ses sœurs aînées; celle pour la bourre de soie ne paraît pas destinée à un moins brillant avenir. Cette machine si compliquée, mais dont tous les organes fonctionnent avec un accord si parfait, est aujourd'hui en usage dans les établissements de filature, comme la carde, le banc à broches et le métier à filer; elle a permis d'employer pour les numéros fins des matières qui, à cause de l'inégalité de leurs filaments ou de l'énorme quantité de boutons qu'elles renfermaient, y paraissaient tout à fait impropres; elle a permis de produire, soit en laine, soit en coton, des fils d'une propreté, d'une régularité extraordinaires; elle constitue, en un mot, le plus grand progrès fait en Europe dans la filature des substances filamenteuses, depuis la découverte faite, en 1810, par Philippe de Girard, de la filature du lin.

La peigneuse Heilmann est une combinaison d'un appareil alimentaire avec un appareil peigneur et avec un appareil à la fois arracheur et réunisseur.

L'appareil alimentaire est fait de manière à délivrer successivement et à intervalles égaux de petites quantités des filaments à peigner préalablement réunis en ruban à chaque alimentation; le bout du ruban est saisi par une pince à double mâchoire qui s'ouvre et se ferme, et il est présenté à l'action de l'appareil peigneur, composé d'une série de peignes travailleurs montés sur un cylindre tournant autour de son axe. Ces peignes travailleurs séparent les filaments courts et les boutons, les entraînent; une brosse et un cylindre garni de cardes les retirent ensuite de ces peignes sous forme de nappes. Le bout du ruban alimentaire ainsi peigné est alors saisi par l'appareil arracheur composé de deux cylindres; ces deux cylindres détachent du ruban alimentaire les filaments saisis par un bout, en arrachant l'entrebout à travers un peigne appelé *peigne fixe*. Ce peigne fixe pénètre dans l'extrémité peignée des filaments au moment où l'arrachage doit se faire et où la pince s'ouvre et lâche l'autre extrémité. Par cet arrachage à travers le peigne fixe, cette autre extrémité des filaments, déjà peignés à l'autre bout, se trouve être peignée aussi, de manière que les filaments détachés du ruban alimentaire sont peignés par les deux bouts et prêts à être rattachés à ceux précédemment détachés, et ainsi de suite. Cette soudure des mèches successivement peignées s'obtient au moyen d'un mouvement en sens inverse des cylindres arracheurs : les extrémités des mèches sont superposées de manière qu'il en résulte un ruban continu que la machine délivre régulièrement.

Dans cette courte description nous avons tâché de résumer les principes fondamentaux de la peigneuse Heilmann; ces principes se retrouvent dans la peigneuse pour coton, dans celle pour laine, dans celle pour étoupes de lin et pour la bourre de soie; il n'existe entre ces diverses machines d'autres différences que celles résultant de la longueur des filaments qu'il s'agit de travailler. Ces modifications sont infinies, de manière qu'étant donnée une certaine longueur de filaments, on peut immédiatement, en suivant les règles posées par Heilmann, créer une machine convenable pour les peigner. On change à volonté la finesse des peignes suivant la nature des filaments et aussi suivant le degré plus ou moins avancé de peignage qu'on désire obtenir.

L'ensemble mécanique, inventé par Heilmann pour traduire son invention en une machine que l'industrie pût employer comme les autres machines de filature, est un chef-d'œuvre presque aussi admirable que l'idée éminemment originale de l'inventeur.

Josué Heilmann, l'auteur de cette magnifique invention, est mort avant d'avoir pu jouir du succès merveilleux de sa machine, de son triomphe en Angleterre, sur la terre classique de la filature; mais aujourd'hui l'expérience a proclamé son succès de la manière la plus éclatante : il n'y a plus qu'une voix dans toute l'Europe industrielle pour dire que c'est la plus belle invention faite depuis quarante ans dans l'industrie de la filature.

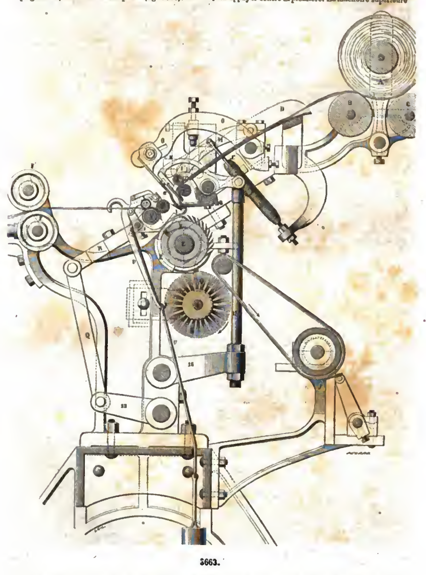
Il s'agit ici d'une ces découvertes exceptionnelles qui ne se présentent dans l'industrie qu'à de longs intervalles.

On trouvera dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, qui a donné à la belle invention de M. Heilmann son prix de 12,000 francs, les dessins bien complets des diverses peigneuses propres au travail des divers filaments. Je donnerai seulement ici, pour bien faire comprendre les principes essentiellement nouveaux résumés plus haut, sur lesquels repose le fonctionnement de cette machine, la coupe de la peigneuse propre au travail du coton, à l'aide de laquelle on parvient, comme il vient d'être dit, non-seulement à débarrasser le coton de toute impureté, mais encore à faire disparaître les fibres trop courtes pour permettre la fabrication d'un fil irréprochable, et en disposant les fibres parallèlement avec une exactitude parfaite sans qu'aucune puisse demeurer repliée; en un mot, on réalise toutes les conditions qui peuvent conduire à la perfection de la filature.

A est un rouleau garni d'une nappe de coton sortant des cardes; il est porté par deux tambours en bois B, C qui guident le déroulement de la nappe en se mouvant comme les rouleaux alimentaires *a* et *b*.

D est un guide qui conduit la nappe entre les rouleaux alimentaires *a* et *b*, le premier cannelé, en acier, le second couvert de cuir. Ils reçoivent un mouvement

intermittent d'une roue à étoiles qui leur fait faire un dixième de-tour par chaque révolution du cylindre peigneur E, dont nous allons parler (fig. 3663).



3663.

A sa sortie des cylindres alimentaires, la nappe arrive dans la pince formée de deux mâchoires, l'une supérieure métallique *c*, l'inférieure *d* garnie de cuir; cette dernière, par l'action d'un ressort, tend toujours à s'appuyer contre la première. La mâchoire supérieure reçoit un mouvement d'oscillation autour du centre 1, et la mâchoire *d* autour du centre 2, mouvement im-

primé à l'aide d'une came qui meut le levier 18, la verge 17, le levier 17 et enfin l'axe 15. Le mouvement étant produit de bas en haut, la mâchoire supérieure s'élève, et celle inférieure la suit jusqu'à la rencontre des points fixes du bâti contre lesquels elle vient buter; alors la mâchoire *c* continue de s'élever seule, et par conséquent la pince s'ouvre.

C'est à ce moment que les cylindres *a* et *b* font avancer la nappe, dont la tête vient s'engager dans la pince, en la dépassant d'une quantité déterminée par le réglage de l'alimentation, en raison de la longueur des fibres élémentaires.

Aussitôt ce mouvement accompli, la mâchoire *c* redescend, vient s'appuyer contre la mâchoire *d*, en serrant la nappe, et toute la pince, entraînée par l'oscillation de la mâchoire supérieure, tourne autour du centre 1 et vient présenter la tête de la nappe aux peignes parallèles qui garnissent une partie de la surface du tambour peigneur E. La surface du tambour peigneur E est divisée en quatre parties inégales par les peignes parallèles assemblés sur partie de sa surface, d'un côté, et un segment cannelé E' de l'autre, les intervalles entre ces parties étant unie.

Les peignes sont faits avec des aiguilles d'acier réunies dans du plomb (comme on le fait pour celles du métier à bas); les premières sont les plus grosses, font la majeure partie du travail; les dernières, très-fines, ayant 40 dents au centimètre, le rendent parfait.

Une brosse circulaire G, montée sur l'arbre 4, tourne dans le même sens que le tambour peigneur, mais avec une vitesse plus grande. Cette brosse, à chaque révolution du tambour, débarrasse les peignes des matières étrangères, des boutons et des brins très-courts dont ils sont chargés. Un ruban de carde H, monté en toile sans fin, nettoie les brosses G, et un peigne à mouvement alternatif fait tomber dans une caisse destinée à cet effet tous les déchets qu'il détache des dents de la carde.

Quand les peignes du tambour peigneur ont accompli leur fonction, la pince remonte en s'ouvrant, et le peigne fixe *e*, placé en avant, s'introduit vers la limite de la portion déjà épurée de la nappe.

Au même moment, un cylindre garni de cuir 5, oscillant autour d'un cylindre cannelé *g*, vient s'appuyer vivement contre la partie cannelée E' du tambour peigneur, et par suite comprimer les fibres peignées qui demeurent appliquées sur le tambour. Cet abaissement est produit au moyen d'une came qui met en mouvement au moment voulu l'axe 22, et par suite le système 23, Q, R. Les deux surfaces en contact continuant à tourner retirent du peigne fixe *e* la queue des filaments, et par conséquent la détachent complétement du reste de la nappe. Ils passent ensuite entre le rouleau *g* et un autre rouleau *h* qui opère après le rouleau *f*.

Voici maintenant comment se soudent en un ruban parfaitement continu les différentes mèches successivement arrachées. Après l'arrachage, les cylindres arracheurs *f* et *g*, entre lesquels la mèche est engagée, opèrent un léger mouvement de recul de manière à dégager une portion de la queue arrachée; il en résulte que la tête de la mèche suivante vient se placer sur cette portion de queue précédente, se soudera avec elle sous l'action des cylindres *f*, *g*, *h*, et il en résultera un ruban continu dont la longueur sera nécessairement égale à la somme des mouvements d'avance ou d'arrachage, diminuée de la somme de leurs mouvements de recul.

Ainsi soudé, le ruban est saisi par les rouleaux d'appel qui le dirigent hors de la machine.

Une seule machine peut avoir six têtes semblables, agir sur six nappes à la fois, chacune d'elles ayant 20 à 25 centimètres de largeur. Les peignes donnent en général un coup par seconde, 60 par minute.

PESE-MONNAIE. Nous avons déjà parlé de cet ingénieux appareil, de l'invention de M. Seguier. Nous en donnerons ici la description.

Chaque pièce arrive par un plan incliné près duquel tourne un tambour horizontal garni de pointes qui agitent les pièces pour les faire passer une à une. Arrivées au bas du plan incliné, les pièces sont placées sur la balance par un *poseur*. La balance est multiple, et chaque plateau est suspendu à une extrémité du fléau par une tige verticale dont une partie est enveloppée par un très-petit cône. Cette tige enfile librement un petit anneau porté par un bras implanté dans la pièce qui soutient le couteau central et qui sert à soulever le fléau. Le petit anneau, dont le poids est précisément égal au poids de tolérance, se trouve, dans l'état de repos, à une très-petite distance au-dessus du sommet du cône.

Supposons que l'étalon ou le poids *droit* soit placé sur un plateau et la pièce sur l'autre : 1° Si la pièce a le poids de l'étalon ou à peu près, le fléau reste horizontal; une pièce amenée par le poseur pousse celle qui est sur le plateau et la fait descendre par un canal du milieu dans la case des bonnes pièces; 2° si la pièce est plus lourde que l'étalon, le fléau tend à s'élever du côté de l'étalon, la tige monte avec son cône qui pénètre dans le petit poids annulaire, s'en charge, et alors du côté de l'étalon on a un poids fort égal au poids droit augmenté de la tolérance. Si l'oscillation du fléau est arrêtée, la pièce est dans les limites de la tolérance et se rend dans la case des bonnes pièces. Mais quand ce poids annulaire est insuffisant pour arrêter l'oscillation, la balance trébuche et la pièce est poussée dans un canal latéral qui la conduit dans la case des pièces trop fortes; 3° enfin, si la pièce est plus légère que l'étalon, le fléau monte du côté de la pièce, le cône monte aussi et se charge de son poids annulaire. Si ce poids ajouté à la pièce arrête l'oscillation, la pièce s'en va par le canal du milieu; mais, s'il n'arrête pas l'oscillation, la pièce se rend par un autre canal latéral dans la case des pièces faibles. La séparation, le triage des pièces, s'opère au moyen d'une aiguille placée au-dessus du fléau et dirigée verticalement entre deux touches dans l'état d'équilibre. Quand une pièce est dans les limites de la tolérance, l'aiguille, qui n'a que de petites oscillations, ne heurte pas les touches, et la voie du milieu reste ouverte pour conduire la pièce au récipient des pièces acceptées. Mais quand une pièce est trop légère ou trop lourde, l'aiguille vient heurter une des touches qui commandent l'extrémité des conduits latéraux, et la pièce prend l'une ou l'autre des deux voies latérales conduisant au récipient des pièces rejetées comme trop faibles ou trop fortes.

Avec cette balance on pèserait 50 pièces par minute. On irait à 500 si la même trémie alimentait dix balances : c'est le travail de quinze ou seize peseurs.

PHOSPHATE DE CHAUX. Une des plus grandes découvertes auxquelles la science soit arrivée dans ces dernières années est sans contredit l'importance du phosphate de chaux minéral pour l'agriculture. Accroître dans une proportion considérable les récoltes par l'emploi d'un amendement minéral, c'est permettre d'augmenter la richesse générale avec une incroyable facilité. Nous ne saurions mieux faire, pour montrer la possibilité d'accomplir ce grand progrès, que de suivre l'excellent *Guide de la fabrication économique des engrais*, par M. Rohart, livre où toutes les questions qui se rapportent à l'utilité, au prix de revient, à l'emploi des engrais, sont traitées d'une manière à la fois si pratique et si complète. Nous y renverrons le lecteur pour les développements dans lesquels le cadre de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer.

« Parcourons rapidement l'historique de cette dé-

couverts, que nous voyons *certainement* appelée à prendre date parmi les grands faits de ce siècle, grâce à la coopération active de la science envers laquelle nous serons bientôt redevables de ce nouveau bienfait.

« Les phosphates de chaux naturels sont connus depuis longtemps des minéralogistes sous des noms différents, selon l'origine qu'on leur attribue, et aussi selon la composition qu'on leur a reconnue. On les désigne généralement sous les noms d'*apatite*, de *phosphorite* et de *coprolithes*; mais il nous paraît probable que la dernière dénomination sera rejetée, car il est encore difficile de prouver péremptoirement que les concrétions appelées coprolithes proviennent d'excréments de grandes races d'animaux disparus de la surface de la terre à l'époque du déluge. Déjà, en Angleterre, où l'on exploite ces gisements depuis dix à douze ans, on leur refuse cette origine, et on les considère comme des phosphorites, c'est-à-dire comme un minerai pur et simple.

« L'apatite présente à l'œil des formes cristallines régulières, tandis que la phosphorite et les coprolithes n'en offrent aucune. L'apatite est formée de 45 d'acide phosphorique combiné à 55 de chaux. La phosphorite a la même composition que le phosphate des os, c'est-à-dire 46,15 d'acide phosphorique et 53,85 de chaux.

« L'apatite paraît être le minerai le plus anciennement connu parmi ceux que nous venons de désigner. Il en existe un gisement considérable en Espagne, à Logrozan et à Truxillo, province de l'Estramadore. Sa composition, d'après une analyse faite en Angleterre en 1843 sur deux échantillons très-riches, se résume ainsi :

Phosphate de chaux	81,15	100
Fluorure de calcium.	14,00	
Peroxyde de fer.	3,15	
Silice.	1,70	

« C'est là un minerai d'une richesse extraordinaire. Le banc qui l'a fourni n'a pas moins de 4 mètres d'épaisseur, et s'étend à plusieurs milles de longueur (le mille = 1,609^{m},315). Ces intéressantes constatations ont été faites, en 1842, par M. Daubeny, professeur de chimie à l'Université d'Oxford, et par M. le capitaine Widrington, tous deux délégués de la Société royale d'agriculture d'Angleterre. Les Anglais exploitent aujourd'hui l'apatite que la Suède leur fournit en quantités considérables.

« L'Angleterre possède également, dans les comtés de Suffolk, de Norfolk, du Hertfordshire et du Lincolnshire, des dépôts de coquilles fossiles mélangées de sable vert, également riches en phosphate de chaux, et qui sont devenus l'objet d'un commerce considérable.

« Voici dans quels termes s'explique à ce sujet M. Elie de Beaumont :

« Au commencement de l'année 1848, M. Wiggins
« annonça à la Société géologique de Londres que,
« près Ramsholt-Creck, Sutton et en quelques autres
« points du Suffolk, on avait trouvé de grandes quan-
« tités de dents, d'ossements et de substances copro-
« lithiques ou excrémentielles. En Angleterre, un
« pareil fait ne pouvait passer inaperçu. Ces débris,
« riches en phosphate de chaux, sont maintenant re-
« cueillis, dit il (22 mars 1848), pour être employés
« dans l'agriculture. Mais on ne s'est pas borné à les
« employer en nature, et on les mêle avec l'acide sul-
« furique. Ce composé est devenu, dit-on, un article
« régulier de commerce. Il est coté dans les annonces
« agricoles et offert à raison de 6 à 7 livres sterling
« (150 à 175 fr.) la tonne, prix qui, pour le dire en
« passant, ne s'écarterait que faiblement de celui au-
« quel les résidus de noir animal sont vendus à Nantes
« pour le même usage, et qui, comme ce dernier, fait
« probablement ressortir le prix de l'acide phospho-
« rique supposé pur à environ 50 centimes le kilogr.
« La valeur vénale de la substance étant, d'après ce
« qu'on vient de rapporter, beaucoup plus grande que
« celle de la houille, c'est là un gîte minéral d'une
« grande richesse et dont l'exploitation est susceptible
« de donner des bénéfices considérables. »

« Les prix indiqués par M. de Beaumont établissent la valeur agricole du phosphate de chaux en Angleterre à raison de 23 centimes le kilogr., puisqu'un kilogramme d'acide phosphorique est contenu dans 2^{k},67 de phosphate de chaux des os.

« Le sol français n'a rien à envier à ses voisins sous le rapport de ces précieuses richesses agricoles; car, dès l'an III, le *Journal des Mines* signalait à l'attention publique un gisement de pyrites situé sur la rive méridionale du Pas-de-Calais, entre Saint-Pol et Wissant, dans lequel M. Berthier, alors professeur de chimie à l'École des mines, trouvait des quantités assez considérables de phosphate de chaux. Cette richesse en phosphates obligea même M. Flachet, propriétaire de l'établissement dans lequel les pyrites étaient converties en sulfate de fer commercial, à renoncer à cette fabrication, dont la marche était entravée par la présence du sulfate de chaux.

« Je ne serais pas étonné, a dit plus tard l'éminent professeur de l'École des mines, de voir un jour l'usine établie par M. Flachat sur la côte de Wissant, dans le but de traiter les pyrites en rejetant le phosphate de chaux, relevée pour utiliser le phosphate de chaux avec le concours des pyrites.

« Ce coup d'œil d'un homme d'une intelligence élevée est assez remarquable, car sa prédiction est en train de s'accomplir.

« On trouve également dans les *Annales des Mines* (année 1820, 1re série, t. V, page 197) que M. Berthier a trouvé jusqu'à 57,3 p. 100 de phosphate de chaux dans des nodules de chaux phosphatée que contient la chaux chloritée du cap la Hève, près le Havre.

« Le plus important gisement est celui qui a été signalé par M. de Lanoue, chimiste-géologue à Raismes (Nord). Il résulte, en effet, de la communication de M. de Lanoue que le calcaire ou la craie des environs de Lille contient une substance appelée *tun*, dans laquelle l'analyse a révélé des richesses de 19 à 32,50 de phosphate de chaux. A l'appui de ses intéressantes communications, M. de Lanoue a produit des échantillons d'une roche de cette nature, prise à une profondeur de 15 à 30 mètres, formant une couche moyenne de 0,90 d'épaisseur et s'étendant à plusieurs lieues aux environs de Lille. « C'est, ajoute M. de « Lanoue, la plus considérable accumulation d'acide « phosphorique qui, jusqu'à ce jour, ait été signalée « sur le globe. » Les analyses de M. de Lanoue ont été répétées à l'École des mines par M. Rivot, et elles ont donné les résultats suivants :

Phosphate de chaux.	38 70	100
Carbonate de chaux (craie). .	52 30	
Argile.	1 50	
Eau et perte.	7 50	
Oxyde de fer.	traces.	

« Il est certain que c'est d'après ces indications de la science que des hommes d'action se mirent à l'œuvre, et que M. Nesbitt, chimiste agricole à Londres, et MM. de Molon et Thurneyssen, de Paris, explorèrent le sol français, en commençant par les contrées indiquées par MM. Mougy, Sens et de Lanoue. Un peu plus tard, M. de Molon annonça à l'Académie des sciences la découverte de nouveaux gisements d'une puissance, d'une étendue et d'une richesse bien supérieures à tous ceux indiqués jusqu'ici, et présentant, en effet, un système régulier d'observations indiquant

des recherches nombreuses, dont le résultat est l'existence de gîtes immenses de phosphate de chaux dans toute l'étendue du bassin dit anglo-parisien, dont Paris est le centre, et qui embrasse trente-neuf départements dans la circonférence que forment autour de Paris les villes et bourgs suivants : Honfleur, Argentan, Alençon, le Mans, La Flèche, Angers, Loudun, Châtellerault, Mehun, Sancerre, Auxerre, Bar-sur-Seine, Saint-Dizier, Clermont-en-Argonne, Vouziers, Rethel, Rosoy et Aubenton.

« En un mot, le précieux minerai paraît suivre exactement la même ligne que les bancs de craie qui, en France, s'étendent depuis Mézières jusque vers Bourges, en s'éloignant ensuite vers le nord et l'ouest, pour se retrouver dans la Seine-Inférieure et dans plusieurs comtés est de l'Angleterre; car, dans une communication de M. de la Tréhonnais, correspondant du *Journal d'Agriculture pratique* pour l'Angleterre, il est dit que : « Des recherches sont faites maintenant « partout où la nature géologique du sous-sol fait « supposer l'existence de ces gisements phosphoriques; car on a découvert que ce n'est pas seulement « dans le *crag* calcaire des comtés de l'est de l'Angleterre que l'on trouve les phosphates, mais aussi et « surtout dans la couche supérieure du sable vert qui « se trouve immédiatement au-dessous de la craie inférieure, et c'est dans cette couche que nous les « avons récemment découverts en grande quantité au « pied des collines crayeuses des comtés de Hertfordshire et de Lincolnshire. Les phosphorites triturés et « pulvérisés, tels qu'on les livre au commerce, donnent une proportion moyenne de 25 à 30 pour 100 « d'acide phosphorique, ce qui donne 52 à 63 pour 100 « de phosphate de chaux. »

« En France, c'est principalement dans les différentes espèces de craies (blanche-marneuse chloritée) et dans une variété particulière de sable vert et d'argile que l'on trouve des rognons ou nodules, souvent empâtés dans la masse terreuse qui les enveloppe, et dont le volume, aussi bien que le poids, la richesse et la couleur, paraissent dépendre de la nature des terrains qui les contiennent. Nous en avons vu de petites montagnes, et leur grosseur varie entre celle d'une noisette et celle d'un œuf d'outruche. Leur forme est irrégulière, bien que toujours un peu arrondie; les uns ont l'aspect des excréments du chien, plus ou moins contournés et plus ou moins renflés ou étranglés dans leur longueur; d'autres ressemblent à de petites pommes de terre ou à des rognons proprement dits; mais, à première vue, tous les gens du monde les prendraient pour des cailloux plus ou moins réguliers. Leur couleur est également très-variable; les uns ont une teinte ocreuse sale ou de rouille; d'autres sont gris ardoise, ou présentent une nuance vert foncé presque noire. Toujours ils sont recouverts d'une légère couche terreuse très-adhérente, qui empêche de reconnaître leur couleur véritable, celle du vert très-foncé pour les nodules les plus riches. Vus en masse, il est assez facile de juger de leur richesse par leur couleur, car plus ils sont fortement colorés et plus ils contiennent d'acide phosphorique. Il en est de même de leur poids, toujours d'autant plus considérable que la quantité d'acide phosphorique est plus grande. Ces nodules sont généralement assez durs, et leur dureté est encore un indice de leur qualité. Leur cassure, d'aspect pierreux, n'offre aucun caractère bien saillant, si ce n'est, pour quelques-uns, des teintes verdâtres au centre des rognons et des nuances plus grises dans le pourtour; seulement on distingue facilement à l'œil nu des parties assez brillantes disséminées dans la masse, et qui paraissent n'être autre chose que des grains de sable plus ou moins gros. D'autres laissent voir dans l'intérieur de leur masse du gravier proprement dit, des coquillages et même des fragments de bois assez volumineux et en partie pétrifiés.

« Dans sa communication à l'Académie des sciences, M. de Molon s'exprime ainsi : D'après de nombreuses analyses faites par M. Bobierre, président de la Société académique de Nantes, et chimiste-vérificateur des engrais dans la Loire-Inférieure, analyses répétées au laboratoire de l'École normale de Paris, la richesse en phosphate de chaux des nodules de la première catégorie varie entre 32 et 60 pour 100; celle des nodules de la seconde catégorie entre 45 et 65 pour 100. Quant aux nodules de l'argile du gault, ils contiennent jusqu'à 70 pour 100.

« Le lit régulier du sable vert inférieur se montre au jour sur une très-grande étendue. En suivant de l'est à l'ouest le bord septentrional du bassin anglo-parisien, on voit ce lit affleurer d'abord sur le pourtour de l'îlot jurassique du Boulonnais, dans les communes de Wissant, de Leubringhem, d'Hardinghem, de Colembert, de Brunembert, de Nottenghem, de Vieil-Moutier, de Desvres, de Longuefosse, de Vierre-au-Bois, de Tingry, de Verlinctum, de Nesles, de Neufchâtel, et jusqu'aux bords de la mer.

« M. Bobierre, aujourd'hui professeur de chimie à l'École préparatoire des sciences de Nantes et chimiste-vérificateur des engrais dans la Loire-Inférieure, a constaté qu'au contact de l'eau chargée d'acide carbonique les différents engrais phosphatés, en usage dans les départements de l'Ouest, cédaient leur phosphate de chaux dans les rapports suivants, pendant un temps égal :

Charbon d'os en grains.	15	millièmes.
Charrées, ou cendres lessivées. .	15	—
Noirs de la clarification des sucres.	11	—
Nodules des coprolithes.	11	—

« A l'égard des coprolithes, le résultat a été le même, soit qu'ils aient été employés dans leur état normal, soit après avoir été chauffés et refroidis brusquement dans l'eau.

« Depuis cette époque, M. Bobierre, consulté sur l'importance agricole des gisements de phosphate de chaux naturels récemment découverts, s'exprime ainsi dans un rapport adressé à l'Empereur :

« ...Les défrichements des landes, la culture du sarrasin, des céréales et de plusieurs végétaux dans les « terrains argilo-siliceux, réclament impérieusement « des quantités considérables d'engrais à base d'acide « phosphorique. Sous l'empire de ce besoin, les agronomes anglais ont fait des sacrifices considérables. « Ils ont envoyé leurs navires chercher des os dans « toutes les contrées qu'ils savaient en receler. Ils ont « successivement fait étudier le phosphate de chaux « très-dur et très-difficilement assimilable de l'Estramadure; plus récemment ils ont découvert, sur « quelques points des comtés de Sussex et de Suffolk, « de grandes quantités de phosphates d'origine coprolithe, qui sont aujourd'hui cotés en Angleterre de « 150 à 175 fr. la tonne.

« ... Je manquerais, pour ma part, aux devoirs imposés à ma conscience, par l'honneur que me fait Sa « Majesté en me consultant aujourd'hui, si je ne déclarais, en me basant sur des études longues et approfondies, que peu de problèmes économiques me « semblent plus importants que ceux qui se rattachent « aux gisements et au commerce des engrais industriels.

« ... Encourager la recherche et l'exploitation des « gisements d'acide phosphorique, protéger l'acheteur « contre la falsification des engrais, tels sont les bienfaits que l'agriculture française doit solliciter avec « ardeur du gouvernement de Sa Majesté.

« ... Il n'y a aucune comparaison possible entre les

« roches phosphatiques très-difficilement assimilables « et les nodules de phosphate de chaux trouvés en « France par M. Demolon. Ceux-ci, ont une texture « qui, modifiée par l'action successive de la chaleur, « de l'eau froide, de la pulvérisation, et enfin du mé- « lange avec quelques substances organiques, se prête « à la dissolution dans le sol et à l'absorption ulté- « rieure par l'organisme végétal. La possibilité de ren- « dre cette absorption plus ou moins prompte devient « du reste secondaire, et se modifie selon les terrains « et les cultures, ainsi d'ailleurs que cela se remarque « dans l'emploi des noirs d'os.

« J'ai la conviction que l'exploitation des nodules « de phosphate de chaux sur une vaste échelle, et que « leur traitement en vue des besoins agricoles, peuvent « avoir une très-grande portée sur l'agriculture des « vastes régions de l'empire, et en particulier des dé- « partements de l'Ouest et du Centre ; à leur aide, en « effet, et sous l'influence de dépenses relativement « moins fortes, les défrichements de landes pren- « draient une nouvelle activité, car l'abondance de « l'acide phosphorique sur le marché apporterait tout « à la fois un élément de fertilisation au producteur « de grains et un obstacle aux débitants de matières « inertes... »

Du rôle du phosphate dans les engrais. — Dans tous les essais comparatifs que l'on peut tenter, il faut se souvenir que si l'engrais entre dans la comparaison comme élément du problème, la nature du sol y participe également par sa plus ou moins grande fécondité, c'est-à-dire que chacun des éléments que la terre contient déjà contribue puissamment à faciliter ou à entraver l'action des engrais mis en comparaison. Dans tous les cas, le phosphate de chaux sera toujours un auxiliaire puissant, précieux, mais rien de plus. Hormis les cas de défrichements, le phosphate de chaux ne constituera jamais un engrais proprement dit, pas plus que l'humus, ni les sels ammoniacaux, ni la potasse, ni la soude, ni la chaux, ni la magnésie, ni l'alumine, ni la silice, ni l'oxyde de fer ; c'est le concours de *tous* qui est indispensable, comme dans le fumier de ferme, et dans l'état où chacun de ces corps exista dans ce dernier. Hors de là, tout n'est qu'illusion.

Ici, le fait capital c'est la solubilité des phosphates de chaux naturels et leur assimilation certaine, incontestable, par les plantes cultivées ; c'est un fait important à consigner pour l'avenir.

Le véritable type des engrais est le fumier de ferme, parce qu'il constitue tout à la fois un engrais mixte et complet, renfermant les divers éléments des récoltes, et pouvant s'appliquer à la grande majorité des cas et à la généralité des cultures.

La fabrication des engrais est donc l'art qui consiste à grouper économiquement les éléments nécessaires à la végétation en général, mais particulièrement aux récoltes, et, en prenant pour point de départ la composition du fumier de ferme, se résumant elle-même en matières végétales pouvant fournir de l'humus et de l'acide carbonique ; en matières animales pouvant donner de l'ammoniaque, et par conséquent de l'azote ; et enfin, en matières minérales diverses, comprenant principalement les phosphates, la potasse, la magnésie, la chaux ; et accessoirement la silice, la soude, l'alumine, l'oxyde de fer, le soufre et le chlore.

Les végétaux étant dépourvus d'organes digestifs, les matières solides que nous leur présentons ne peuvent être absorbées par eux, et passer ensuite dans leur organisme qu'à la condition *expresse* d'être solubles dans l'eau, on de pouvoir se résoudre en composés gazeux dont les plantes ont la faculté d'opérer le dédoublement, afin de retenir les éléments qui leur sont utiles et de rejeter dans l'atmosphère ceux qu'ils ont en surabondance ou dont ils peuvent se passer.

C'est ainsi que, par l'effet de la pourriture ou combustion lente, les matières végétales naturellement insolubles acquièrent la faculté de pouvoir se dissoudre, puisque l'humus n'est pas autre chose que du bois rendu soluble dans l'eau, avec lequel les végétaux reconstituent de nouveau bois, ou de nouvelle paille, ou de nouvelles feuilles. De même que, dans la combustion lente de ces mêmes matières végétales, toujours accompagnée d'acide carbonique, les plantes retiennent le carbone qu'elles font servir à leur charpente, à leur constitution, tandis qu'elles rejettent l'oxygène surabondant.

C'est également en vertu des mêmes lois que les végétaux ne peuvent prendre à certaines matières animales imputrescibles, comme les cuirs tannés et la houille, l'azote qu'elles contiennent, tandis que, par l'effet de la décomposition de ces matières, l'ammoniaque qui en résulte devient soluble dans l'eau, et la végétation peut alors y puiser l'azote qui lui est absolument indispensable, et sauf à laisser de côté l'hydrogène, si elle peut s'en passer.

Les plantes ne s'assimilent donc pas directement le terreau des matières végétales, mais bien l'humus et l'acide carbonique en provenant, de même qu'elles ne prennent pas directement l'ammoniaque, et encore moins la matière animale, mais simplement l'azote.

Ainsi, l'humus et l'acide carbonique sont les deux derniers termes de la décomposition des matières végétales, comme l'ammoniaque et l'azote sont les deux derniers termes de la décomposition des matières animales, mais en réalité il n'y a, pour la végétation, ni deux espèces d'humus, ni deux espèces d'acide carbonique, ni deux espèces d'ammoniaque, ni deux espèces d'azote, puisque le même engrais, ou, si l'on veut, le même sel ammoniacal, le même azote enfin, peut produire indistinctement du froment ou de l'avoine, et puisque l'humus de paille de maïs peut produire du seigle ou toute autre céréale, comme l'humus de la paille de seigle ou de l'une quelconque des graminées peut produire du maïs, etc.

En un mot, la matière étant donnée, le végétal se charge de l'approprier à sa constitution et à ses besoins. La matière est toujours la même pour toutes les plantes et sur toute la surface de la terre ; il n'y a que l'arrangement qui est différent, selon chaque espèce végétale.

Voilà pour les matières organiques des deux règnes. Quant aux substances minérales, nous avons vu que les mêmes se retrouvaient *toujours* dans les végétaux de la même famille, que l'absence de l'un de ces éléments suffisait pour amener l'infécondité, ou au moins que la seule restitution de l'agent disparu était suffisante pour rendre la fertilité, notamment à l'égard du phosphate de chaux, que nous avons trouvé *partout* dans le règne végétal et à tous les degrés de l'échelle animale.

« *Utilité du phosphate de chaux.* — M. Boussingault a formé un sol artificiel en prenant de l'argile cuite concassée et du sable, qu'il a fait calciner à une température élevée, afin de détruire toute trace de matières organiques ; la même précaution a été prise pour le pot à fleurs contenant ce mélange, dans lequel on a semé des graines d'hélianthus. L'arrosage a été pratiqué avec de l'eau pure, c'est-à-dire distillée avec le plus grand soin, mais à laquelle cependant on avait fait absorber le quart de son volume d'acide carbonique gazeux.

« Dans ces conditions, on n'a obtenu qu'une plante faible, délicate, ne pesant pas beaucoup plus à l'état sec que la graine de laquelle elle était sortie, mais pourvue cependant d'organes complets. Le bouton s'est épanoui en une petite fleur jaune, dont la corolle n'avait pas plus de 3 millimètres de diamètre. Cette fleur en miniature était environnée de plusieurs feuilles nais-

santes, ainsi que le montre la fig. 3664, que nous empruntons au *Journal d'agriculture pratique*, 1er semes-



3664.

tre, 1857, p. 476, d'après la réduction au cinquième d'une épreuve photographique A.

« Dans une seconde expérience faite avec les mêmes précautions, et les mêmes matières employées dans les mêmes rapports, on a ajouté au sol 10 grammes de phosphate de chaux des os, 0g,50 de cendre provenant du foin de prairie, et 1,26 de carbonate de potasse, puis on y a également semé deux graines d'hélianthus, qui ont été arrosées avec la même eau que celle employée dans l'expérience A. Chacun des plants a fourni un bouton, et tous deux ont donné une fleur jaune extrêmement petite, mais bien conformée (figure 3665) B.

« Comme dans l'expérience A, les plants sont restés



3665.

assez vigoureux jusqu'à l'âge de deux mois; après, les feuilles se sont flétries vers le bas de la tige, et la force de la végétation a décru rapidement.

« Dans ces deux expériences, comme dans celle qui va suivre, les plantes ont été exposées en plein air, mais tenues à l'abri de la pluie et de la rosée, à un mètre au-dessus du gazon, près d'une vigne plantée sur la limite d'une grande forêt.

« Enfin, dans une troisième expérience C, le sol était exactement constitué, en poids et en nature, comme dans la première expérience que nous venons de décrire, mais on a fait entrer dans la composition du sol : 10 grammes de phosphate de chaux, 1g,50 de cendre, et 1g,10 d'azotate de potasse, et les deux graines d'hélianthus, qui ont été semées, ont été arrosées avec la même eau pure que celle employée précédemment. Ici, la seule présence d'un peu d'azote (0g,1969), contenu dans l'azotate de potasse employé, a suffi pour produire des résultats bien différents des premiers, ainsi que le montre la fig. 3666. L'hélianthus le plus



3666.

grand porte une belle fleur jaune dont la corolle a 9 centimètres de diamètre. Les feuilles présentent une surface égale à celle d'un hélianthus venu en terre de jardin.

« Voilà les faits.

« Laissons parler le savant illustre dont les travaux ont si puissamment contribué à éclairer la pratique agricole, et nous conclurons après : « Les hélianthus « venus dans ces conditions ont offert à peu près le « même aspect, la même vigueur, que ceux que l'on « avait cultivés en pleine terre. De l'association du « salpêtre avec les phosphates et les cendres, il est « donc résulté un engrais *complet*, dans lequel les « plantes ont trouvé tout ce dont elles avaient be- « soin. »

« Nous avons reproduit en italique le mot complet, sur lequel nous croyons devoir présenter quelques réflexions.

« On pourrait se prévaloir des idées d'un grand maître pour tenter de nous fabriquer des engrais *complets* au moyen du salpêtre, des phosphates et des cendres, sans s'apercevoir qu'un pareil engrais serait absolument *incomplet* dans les conditions culturales ordinaires, c'est-à-dire, à défaut de pouvoir employer, comme M. Boussingault, l'eau saturée d'acide carbonique gazeux, à laquelle l'éminent agronome a dû nécessairement recourir pour dissoudre la phosphate de chaux, et afin que la plante puisse s'assimiler le carbone dont elle a toujours besoin, qu'il soit fourni directement à la végétation, ou qu'il provienne de la décomposition des matières végétales. »

PHOTOMÈTRIE. La mesure des intensités lumineuses a reçu dans ces dernières années d'importants perfectionnements, et l'on commence à disposer de moyens plus parfaits que celui un peu primitif dû à Rumford, que nous avons indiqué à l'article ÉCLAIRAGE, pour comparer deux lumières par les deux ombres portées par un corps opaque sur un même écran.

Un physicien bien connu, M. Foucault, a été obligé, pour des expériences sur le gaz de tourbe, dont nous avons donné les résultats à l'article ÉCLAIRAGE, de vérifier l'exactitude des systèmes photométriques généralement employés, et a été conduit à la nécessité de les modifier.

Le procédé des ombres, dit M. Foucault, tel qu'on l'emploie ordinairement, ne me paraissait pas comporter une exactitude suffisante. Je redoutais l'étendue des flammes de gaz, qui faisant naître de larges pénombres, me semblait devoir jeter de l'incertitude sur la comparaison des ombres qu'il aurait fallu ramener à l'égalité. J'ai voulu essayer des nouvelles méthodes fondées sur les phénomènes de la polarisation chromatique, et j'ai pris un grand nombre de déterminations au moyen du photomètre que M. Babinet a spécialement proposé pour ce genre d'application. Je vais dire ici quelques mots de cet intéressant appareil, ne fût-ce que pour me justifier de ne l'avoir pas définitivement adopté d'une manière exclusive.

Le photomètre de M. Babinet se présente extérieurement sous la forme d'un tube de lunette qui, au milieu de sa longueur, donne embranchement sous un angle d'environ 70° à un second tube de même calibre : le tube principal vise sur la source rayonnante que l'on veut éprouver ; la lumière qui pénètre dans l'instrument traverse une série de glaces planes obliquement situées, se polarise ainsi par réfraction et vient illuminer un disque de cristal de roche formé par la juxtaposition de deux segments égaux. On observe ce disque à travers une pièce oculaire que l'on nomme analyseur : il paraît alors vivement coloré de deux teintes partagées entre les deux segments et qui tranchent fortement l'une sur l'autre ; on voit, par exemple, du rouge à droite et du vert à gauche. L'embranchement vise pareillement sur une autre source éclairante et la lumière qui en provient est encore ramenée vers l'œil par la réflexion qui s'opère sur les lames multiples de la pile de glaces. Mais comme la réfraction et la réflexion polarisent les rayons en sens contraires, les couleurs développées par ce second faisceau, au lieu de se montrer comme dans le cas précédent, se disposent en sens inverse ; la rouge qui était à droite passe à gauche, et réciproquement pour le vert. On observe l'un ou l'autre effet suivant que l'on démasque l'une ou l'autre branche ; mais lorsque les deux branches agissent simultanément, l'œil aperçoit un effet résultant qui rappelle plus ou moins l'un ou l'autre effet simple et qui dépend des intensités relatives du faisceau réfracté et du faisceau réfléchi. Si, par hasard, il arrive que ces deux faisceaux aient même intensité, les couleurs s'effacent et le disque apparaît uniformément blanc. Or, comme on dispose des distances des deux sources et comme les intensités varient avec ces distances, on peut toujours réaliser cette espèce d'équilibre qui fait évanouir les couleurs. L'expérience montre que l'appareil présente une assez grande sensibilité. Quand l'équilibre a été réalisé, on constate qu'il suffit de déranger l'une des deux sources de $1/100^{me}$ de sa distance à l'instrument pour faire reparaître les couleurs. On peut donc admettre que les deux faisceaux qui se font équilibre, possèdent des intensités sensiblement égales. Malheureusement il n'existe aucun rapport simple entre les intensités des faisceaux qui entrent réellement en lutte et les intensités des rayonnements directs émis par les sources. Cette imperfection est inhérente à la construction de l'appareil ; la réflexion et la réfraction qui polarisent la lumière l'affaiblissent de part et d'autre dans des proportions inconnues, en sorte que, pour appliquer le nouvel instrument à des mesures exactes, il faut recourir à une méthode analogue à la méthode des doubles pesées.

Au lieu d'opposer l'une à l'autre les deux sources dont on veut comparer les pouvoirs éclairants, on les oppose successivement à une troisième et même source que l'on considère comme constante pendant toute la durée des deux observations, et, des distances où il faut placer successivement cette dernière pour obtenir dans les deux cas l'équilibre, on déduit les intensités des sources proposées. Je suppose qu'on ait à déterminer les rapports des pouvoirs éclairants de deux sources données : d'un bec de gaz et d'une lampe Carcel. On commence par placer le bec de gaz à une certaine distance en avant de la branche principale de l'instrument ; on prend ensuite comme lumière auxiliaire une bougie, et l'on cherche à quelle distance il faut la placer en face de l'autre branche pour réaliser l'équilibre. Soit cette distance égale à 50 centimètres : cela fait, on substitue au gaz la lampe Carcel, et l'on rétablit l'équilibre en déplaçant convenablement la bougie. Admettons, par exemple, qu'il ait fallu la rapprocher à 25 centimètres, on est alors conduit à en conclure que le bec proposé éclaire quatre fois plus que la bougie. En effet, l'intensité de la lumière varie en raison inverse du carré de la distance à la source : quand la bougie est placée à une distance moitié plus petite, elle éclaire quatre fois plus. Or, dans les deux cas, elle fait équilibre aux sources qu'on lui oppose ; il en résulte donc que, de ces deux sources, la première est quatre fois plus intense que la seconde.

Théoriquement, la méthode paraît irréprochable ; mais en pratique elle comporte des lenteurs et des imperfections qui m'ont empêché, malgré l'élégance du principe, de la faire prévaloir.

Elle oblige expressément à recourir à une source auxiliaire, sans que cette source puisse servir d'unité commune dans l'expression définitive des rapports obtenus. Chaque détermination exige deux observations séparées, c'est-à-dire qu'elle comporte deux erreurs qui peuvent s'ajouter, indépendamment de celle qui provient des variations de la source auxiliaire.

L'appareil demande à être dirigé avec soin, de manière à viser à peu près sur les flammes; enfin il ne se prête qu'à l'observation monoculaire. Ces inconvénients ne se sont manifestés que par l'expérience.

J'ai disposé un nouvel appareil, en me préoccupant seulement d'illuminer les deux parties d'un même écran par le rayonnement direct des deux sources que l'on veut comparer, en satisfaisant à cette condition expresse que les deux régions soumises aux rayonnements différents fussent exactement contiguës sans interposition d'aucune pénombre visible. La sensibilité du procédé dépend de la disparition plus ou moins complète de toute limite perceptible entre les deux régions éclairées au moment où les deux rayonnements deviennent également intenses de part et d'autre. L'appareil que je vais décrire permet de réaliser assez commodément cette parfaite continuité d'un même champ illuminé localement par deux sources différentes.

Il consiste en une boîte cubique, qu'une cloison mobile dans son propre plan partage en deux compartiments égaux : le fond de la boîte qui fait face à l'observateur est formé par un écran très-mat, dont j'indiquerai la composition, et qui joue à peu près le rôle de la glace dépolie dans la chambre noire ordinaire. La paroi opposée fait défaut et c'est par là que les rayonnements des deux sources pénètrent librement et isolément dans leurs compartiments respectifs. On met naturellement l'appareil dans une position symétrique, de manière à ce que la cloison médiane partage en deux parties égales l'angle formé par les rayons des deux sources qui convergent sur le milieu de l'écran.

Dans cette situation, il peut arriver que les ombres portées de part et d'autre par la cloison sur l'écran se trouvent séparées par un espace lumineux, ou bien au contraire que ces deux ombres empiètent l'une sur l'autre; dans tous les cas, leurs bords intérieurs seront très-nettement terminés. Or, comme la cloison peut être mue dans son propre plan au moyen d'un bouton qui fait saillie en dehors, on lui donnera la position nécessaire pour amener exactement les deux ombres au contact. On saisit alors avec une facilité surprenante le moindre excès d'intensité d'un rayonnement sur l'autre, et comme on dispose des positions des deux flammes, on arrive à déterminer avec précision les distances respectives qui égalisent à l'œil les deux moitiés du champ, en faisant disparaître leur limite commune. Quand cette espèce d'équilibre se trouve réalisée, il ne reste plus qu'à mesurer directement les distances des objets lumineux, pour en déduire le rapport des pouvoirs éclairants.

Il ressort de cette description que l'effet produit sur l'écran s'observe par transparence, comme les images de la chambre obscure ordinaire pendant la mise au point. L'analogie semblait conseiller l'emploi du verre dépoli : cependant j'ai bientôt reconnu que cette sorte d'écran ne possède pas assez du pouvoir diffusif, qu'il est trop transparent; que, par suite, l'effet optique, contemplé à sa surface, dépendait trop de la position de l'observateur, et qu'on serait exposé à porter de faux jugements. Sous ce rapport, le papier aurait mieux convenu; mais les inégalités de sa structure auraient masqué des différences que l'œil eût saisies sur une trame plus fine et plus homogène. J'en suis donc arrivé à former cet écran d'une couche d'amidon suspendu dans l'eau et déposé par le repos sur une lame de glace. Cet écran possède toutes les qualités requises; on peut le rendre aussi diffusif que le papier, et, de plus, il offre à l'œil toute la finesse, toute l'homogénéité désirables. Le choix d'un bon écran n'était pas sans importance : en le formant d'une couche mate et fortement diffusive, on rend l'appréciation des intensités lumineuses à peu près indépendante du lieu de l'observation. On peut, sans bouger la tête, se servir indifféremment d'un œil ou de l'autre; on peut, par conséquent, observer avec les deux yeux à la fois, ce qui permet d'asseoir le jugement d'une manière plus certaine.

Le nouvel appareil ne requiert aucune des subtilités de l'optique moderne; la manière dont il fonctionne est accessible à tout le monde; il isole et rapproche les éclairements des sources proposées; il permet de les ramener à l'égalité par de simples variations de distance, et il fournit par suite le moyen d'évaluer en nombres les pouvoirs éclairants : le tout se réalise au moyen d'une simple boîte, qu'en raison de son emploi et de sa construction j'appellerai *photomètre à compartiments.*

En essayant cette nouvelle méthode, j'avais principalement pour but de supprimer l'intervention d'une lumière accessoire; dès lors les gaz qu'il s'agissait d'éprouver devaient comparaître simultanément devant l'appareil et donner leurs flammes à des distances variables à volonté.

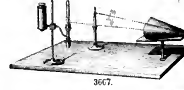
J'arrive maintenant à la recherche d'un moyen pratique pour déterminer la valeur photométrique d'un gaz en valeur absolue, ou du moins pour rapporter cette valeur à quelque unité suffisamment constante et facile à se procurer en tout temps. On a depuis longtemps proposé la bougie comme unité photométrique; mais les variations de cette source lumineuse sont tellement considérables qu'elles sautent aux yeux. Si l'on prend deux bougies dans le même paquet, et qu'on les mette à des distances égales au-devant du photomètre à compartiments, on reconnaît que l'équilibre ne se réalise que très-accidentellement; à chaque instant la supériorité d'éclat passe de l'une à l'autre, et l'instrument accuse presque constamment une inégalité choquante. Cependant cette fixité que l'on chercherait vainement dans une bougie isolée se réalise assez convenablement dans un système de bougies, et elle est d'autant plus parfaite que le groupe est plus nombreux. J'ai pensé qu'en réunissant en faisceau plusieurs de ces éléments dont l'instabilité m'avait d'abord frappé, on réussirait à former une source multiple qui donnerait au photomètre le même effet qu'une flamme simple, et qui déjà présenterait en pratique assez de stabilité pour être utilement employée comme terme de comparaison. Des bougies au nombre de sept se groupent naturellement en faisceau hexagonal, et si l'on a soin de maintenir entre elles une distance d'un centimètre, on trouve qu'elles brûlent avec une remarquable fixité; des courants d'air s'établissent qui tendent les flammes et leur donnent plus de stabilité que lorsqu'elles brûlent isolément. J'ai pris au hasard quatorze bougies de l'étoile et les ayant formées en deux faisceaux, j'ai placé ceux-ci à des distances égales au-devant du photomètre. L'effet sur l'écran a été satisfaisant, non pas que l'équilibre ait été complètement et constamment maintenu, mais les différences qui se sont montrées étaient de l'ordre de celles qui apparaissent d'elles-mêmes, lorsqu'on met deux becs de gaz dans les mêmes conditions.

Pour reconnaître jusqu'à quel point on pourrait compter sur ce mode d'évaluation, nous avons employé une séance à évaluer les deux gaz (gaz de tourbe et gaz de houille) en bougies de l'étoile au moyen du photomètre à compartiments; la moyenne de cinq déterminations a donné le bec de gaz de tourbe comme équivalant à 23 bougies 1/4 : le même bec alimenté par le gaz de la ville, à la suite du même genre d'épreuves, a paru égal à 6 bougies 8/10mes : divisés l'un par l'autre, ces deux nombres de bougies donnent pour le gaz de tourbe 342, celui de la ville étant 100.

Nous avons ensuite comparé directement les deux

gaz et nous avons trouvé 331, c'est-à dire le même nombre à 1/30me près.

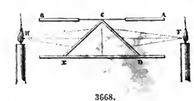
Une disposition du photomètre, analogue à la précédente, en ce qu'elle met bien à l'abri de l'influence réciproque des deux lumières à comparer, a déjà été employée avec succès en Angleterre. Elle est représentée figure 3667. Elle consiste à employer deux cônes



3667.

réunis vers leurs sommets, terminés à ces sommets par deux disques de papier.

Photomètre de Ritchie. — L'une disposition à indiquer est celle due au professeur Ritchie, que l'on voit fig. 3668.



3668.

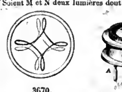
Elle consiste en une boîte rectangulaire ouverte à ses deux extrémités et noircie à l'intérieur. La face antérieure a une longue fente étroite, de forme rectangulaire recouverte avec un tissu fin ou du papier huilé. A l'intérieur on place deux miroirs, taillés dans la même pièce de verre, pour produire exactement le même réflexion. L'angle de réunion des miroirs est en C, et leur ligne de jonction partage AB en deux parties égales; cette ligne est couverte par un papier noir, pour éviter le mélange des lumières réfléchies par les deux miroirs.

Pour se servir de ce photomètre, on le place entre les deux lumières dont on veut comparer les intensités, et elles sont toutes deux réfléchies par les miroirs CD et CE sur le tissu AB. En faisant varier les distances de l'une de ces lumières à la ligne CF, on arrivera à l'égalité de lumière dont l'œil juge assez bien, n'étant pas gêné par la vue des foyers de lumière.

En employant des papiers imprimés (probablement huilés) en caractères très-fins, on apprécie très-bien si chaque lumière permet la lecture des types d'égale finesse, moyen excellent de mesure employé par les oculistes pour juger la netteté de la vision.

Photomètre de Wheatstone. — Cet appareil est fondé sur la persistance de la sensation lumineuse sur la rétine. La partie principale est une perle brillante d'acier P (fig. 3669) montée sur le bord d'un disque de liége porté sur un pignon o qui engrène intérieurement avec une roue plus grande. Celle-ci est adaptée à une petite boîte cylindrique de cuivre qu'on tient d'une main, tandis que de l'autre on fait tourner une manivelle A, qui transmet le mouvement à un axe central et au pignon o. Celui-ci roulant dans l'intérieur du grand engrenage, la perle participe à ce mouvement en même temps qu'elle roule sur elle-même, et elle décrit, le rapport des rayons étant de 1 à 4, une courbe épicycloïdale à 4 nœuds telle que celle représentée fig. 3670.

Soient M et N deux lumières dont on veut comparer



3670. 3669.

les intensités; on place entre elles le photomètre et on fait tourner rapidement. Les points brillants produits par la réflexion des deux lumières sur deux points opposés de la perle donnent alors naissance à deux bandes lumineuses, grâce à la persistance de la sensation de la rétine, semblables à celles de la figure. Si l'une d'elles est plus intense que l'autre, on approche l'instrument de celle qui l'est le moins, jusqu'à ce que les deux bandes présentent le même éclat. Mesurant alors la distance du photomètre à chacune des deux lumières, leurs intensités sont proportionnelles aux carrés de ces distances.

Cet instrument n'est évidemment pas susceptible d'une grande précision, mais son emploi est commode pour obtenir des approximations suffisantes dans bien des cas.

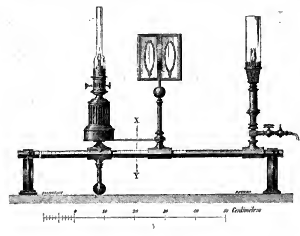
Photométrie photographique. — Les progrès de la photographie, en mettant à la disposition des expérimentateurs des substances dont l'impressionnabilité à la lumière est très grande, fourniront à la photométrie des ressources nouvelles, des moyens de mesure plus exacts que ceux qui exigent l'estimation d'égalité de lumière par l'œil, qui n'est pas un instrument bien précis pour estimer de petites différences. Lorsqu'on connaîtra exactement la limite à laquelle des substances cesseront d'être impressionnées par un foyer lumineux, on pourra déterminer la même limite pour une autre lumière, et si la quantité pouvant produire une image peut être très-faible, il en résultera un moyen de mesure très-précis, donnant des renseignements précieux à la fois sur l'intensité et la nature des lumières comparées. Nous ne connaissons pas de recherches faites dans cette voie, mais elle s'ouvrira tout naturellement avec le progrès de la photographie et pourra conduire à d'excellents résultats. L'action chimique de la lumière, évaluée ainsi avec une grande précision, conduira sans doute à mesurer tous les éléments de son action et par suite notamment ce que nous appelons son intensité, objet de la photométrie.

Photomètre de Bunsen modifié par M. Burel. — On emploie depuis quelques années en Angleterre, surtout pour les cas nombreux de mesure de lumière des becs de gaz, un photomètre dû à M. Bunsen, fondé sur un principe nouveau et fort ingénieux. Voici en quoi il consiste:

Une feuille de papier blanc, portant une tache de matière grasse en son milieu, tache qui la rend translucide dans toute la partie imprégnée du corps gras, est placée entre les deux lumières que l'on veut comparer, de manière que chacune des faces se trouve éclairée seulement par les faisceaux lumineux qui rayonnent de la source qui est en regard de la face considérée. Les rayons lumineux dont l'ensemble constitue les faisceaux incidents frappent à angle droit la feuille de papier, et si les deux foyers sont également distants et de même intensité, les deux faces devront présenter le même aspect. Mais l'expérience indique un phénomène bien plus remarquable, c'est la disparition, à peu près complète, de la tache au moment

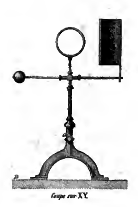
où l'écran est également éclairé des deux côtés. Comment expliquer ce fait intéressant? Voici comment l'analyse M. Bootao (de Rouen) :

deux portions de surface, qui se trouvent cependant posséder des états moléculaires différents, seront donc identiques; la tache devra disparaître.



3671.

Qu'on examine la tache huileuse de l'écran de M. Bunsen, en interposant entre elle et l'œil la flamme d'une bougie, on reconnaîtra que la tache paraît presque noire ; ce qui prouve que le papier, dans cet état d'imprégnation par une substance grasse, a un pouvoir réflecteur ou diffusif à peu près nul pour les rayons lumineux qui le frappent perpendiculairement à sa surface, tandis qu'à côté de la tache le papier non huilé paraît d'un blanc mat et renvoie une forte proportion des rayons qui lui arrivent. Qu'on place, au contraire, le même écran entre l'œil et la lumière de la bougie, la tache paraîtra d'un blanc éclatant, tandis que le reste du papier sera beaucoup moins éclairé que tout à l'heure. Je conclus de ces deux observations que, lorsque l'écran sera disposé comme dans la méthode de M. Bunsen et que ses deux faces seront éclairées chacune par la source qui lui correspond, l'aspect de la tache, vue du côté droit, par exemple, dépendra des rayons qu'elle diffuse, lesquels lui arrivent surtout par transmission et lui viennent de la lumière qui est à gauche ; au contraire, l'aspect du papier non graissé sera dû principalement aux rayons que ce papier réfléchit à son tour, et qui lui viennent de l'autre lumière, de celle qui est à droite. Si maintenant on admet l'égalité des fractions de lumière perdue pour l'œil (fractions minimes toutes deux) dans le faisceau transmis par la tache et dans le faisceau diffusé par le papier blanc, quand les faisceaux incidents sont égaux en intensité, on comprendra sans peine que, si les deux lumières sont inégalement intenses, la tache, vue toujours du côté droit, sera perceptible sur le fond de l'écran et se dessinera avec une teinte obscure, si c'est la lumière de droite qui est le plus intense ; avec une teinte brillante, si c'est la lumière de gauche qui l'emporte. Si, au contraire, l'égalité d'éclairement est établie sur les deux côtés de l'écran, les rayons, diffusés sur une même face par la tache et le papier blanc, seront en même nombre ; les sensations produites par ces



Coupe sur XY.

3672.

Sans nous arrêter à la disposition proposée originairement par l'inventeur, ni aux diverses modifica-

tions de détail qui ont été successivement adoptées en Angleterre, nous décrirons celle adoptée par M. E. Burel, ingénieur civil à Rouen, qui a heureusement perfectionné le photomètre de Bunsen, et lui a donné un haut degré de simplicité et de perfection. Il est représenté fig. 3671 et 3672.

La tringle qui supporte les diverses pièces de l'instrument est une barre prismatique en cuivre solidement établie et qui ne peut fléchir sous le poids du système qui marche avec l'écran, étant soutenue par un appendice vertical de cet écran terminé par un galet qui roule sur la table qui sert de base commune à tout l'appareil. A l'une des extrémités de la barre de cuivre est maintenu, par une vis de pression, en un point qui est le zéro de l'échelle photométrique, le support qui reçoit les sources dont on veut mesurer l'intensité. La lumière prise pour unité est une lampe mécanique consommant une quantité d'huile connue, à l'heure, ou une bougie maintenue à une hauteur constante par un ressort à boudin, comme dans les lanternes de voitures ou mieux dans l'appareil analogue dit photophore où l'enveloppe de la bougie est une matière vitreuse, non métallique; de plus la flamme doit être rendue immobile par l'adaption d'une cheminée en verre.

Le centre de la flamme du bec de gaz qu'il s'agit d'évaluer, celui de l'écran et celui de la lampe sont donc placés sur une ligne droite parallèle à la tringle; l'écran et la lampe, tous deux solidaires, peuvent se mouvoir le long de la tringle pour obtenir la mesure cherchée par la constatation de l'égalité de l'éclairement des deux faces de l'écran. En arrière de celui-ci, se trouvent deux miroirs inclinés, qui permettent à l'œil la perception simultanée des deux faces du diaphragme, et favorisent la détermination de l'égalité d'éclairement. D'avance se trouvent inscrits sur la règle, des chiffres qui donnent le rapport éclairant des deux lumières comparées, en prenant pour unité l'intensité d'une bougie ; une ouverture pratiquée dans la pièce à coulisse qui porte la lumière type découvre l'échelle, et un index correspondant à l'axe vertical de cette lumière marque le nombre de bougies auquel équivaut la source examinée.

La solidarité permanente établie entre la bougie et l'écran est un perfectionnement notable de cet appareil, qui non-seulement simplifie le calcul des intensités, mais surtout qui fait que l'appareil possède, dans toutes les parties de son échelle, un degré à peu près égal de sensibilité. En effet, si c'est l'écran qui se déplace entre les deux sources lumineuses, comme dans l'appareil primitif de Bunsen et dans la plupart de ceux le plus fréquemment employés, le mouvement qu'il devra faire par unité de m, m, étant le rapport des intensités, sera d'autant plus petit que m sera plus grand et correspondra bientôt à des différences que l'œil n'appréciera plus; tandis que, par la nouvelle disposition, l'éclairement constant de l'écran n'est égalé qu'à l'aide de mouvements très-notables, d'où cette conséquence que les résultats obtenus à tous les degrés de l'échelle photométrique présentant à peu près le même degré de précision.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES. La recherche des moyens propres à produire artificiellement des pierres précieuses, qui avait accompli un si important progrès par les travaux du savant Ebelmen, progrès si malheureusement arrêté par la mort de son auteur, a été reprise avec quelque succès.

Nous devons d'abord citer M. de Sénarmont, qui a obtenu des cristaux d'alumine et de silice en exposant des tubes en verre scellés (contenant de l'eau et des hydrates d'alumine et de silice) à une température de 480 degrés. Sous l'influence de la chaleur ces terres abandonnent leur eau de combinaison et se transformait en cristaux microscopiques anhydres isolés, d'une rare perfection.

M. Gaudin, qui avait essayé il y a longtemps de fabriquer le rubis à l'aide du chalumeau oxyhydrogène, a produit, par un autre procédé, des cristaux plus gros avec une extrême facilité. C'est à l'aide d'un creuset brasqué que l'auteur opère; mais, au lieu de charbon ordinaire, contenant généralement de la silice, il met à l'intérieur du creuset du noir de fumée, qui est du charbon pur. Préalablement il calcine au rouge un mélange, à parties égales, d'alun et de sulfate de potasse, qu'il réduit ensuite en poudre. Après avoir rempli à moitié avec cette poudre la cavité du creuset brasqué, il achève avec du noir de fumée bien tassé, sur lequel il pose le couvercle, qu'il luta soigneusement avec de la terre réfractaire.

Le creuset ainsi préparé et séché est soumis à un feu de forge violent, qui doit atteindre le blanc éblouissant et durer un quart d'heure, pour les creusets ne dépassant pas 4 centimètres de diamètre. M. Gaudin fait usage, comme combustible, de graphite des cornues à gaz, de coke, de goudron et de houille. Si le feu a été suffisant, en cassant le creuset on trouve dans la cavité de sa brasque une petite concrétion noire, hérissée de points brillants : cette concrétion se compose de sulfure de potassium empâtant des cristaux d'alumine. En la plaçant dans une capsule, sur un feu doux, avec de l'eau régale étendue d'eau, le sulfure se dissout avec effervescence, et laisse au fond de la capsule des saphirs blancs qui ressemblent assez à du sable fin, avec un certain éclat adamantin qui les ferait confondre, à première vue, avec la poudre de diamant. Au microscope chaque grain apparaît comme un cristal parfait, d'une limpidité merveilleuse. Malgré les corps colorants introduits, les saphirs sont toujours incolores. Cependant, vers la fin de l'opération, il se produit de petites pierres de couleur qui se posent sur les cristaux incolores.

On a trouvé que la dureté de ces pierres était notablement supérieure à celle des rubis naturels qu'on emploie pour les trous à pivots, et déjà les saphirs de M. Gaudin sont assez gros pour servir dans les petites montres. Il a fallu vingt minutes pour en percer un avec un foret d'un dixième de millimètre de diamètre, garni de poudre de diamant, qui exécutait cent tours par seconde. Ce saphir percé, qui avait un tiers de millimètre d'épaisseur, a été présenté à l'Académie à l'appui de ce que l'auteur avançait. Si ces pierres peuvent déjà servir dans l'horlogerie, on peut croire qu'avec des moyens de fabrication sur une certaine échelle, on arrivera à les faire assez grosses pour servir dans les chronomètres et les pendules.

Mais l'auteur espère mieux encore : il pense obtenir les pierres de cette taille à l'état de rubis. Ceux-ci seraient naturellement préférés, à cause de leur riche couleur, à ceux employés jusqu'à ce jour, et qui sont de couleur pâle, et toujours à un bon marché incomparable, relativement aux pierres naturelles, qui ne se trouvent qu'avec des frais de recherche très-considérables.

MM. Sainte-Claire Deville et Caron ont proposé un autre procédé qui repose sur la réaction mutuelle des fluorures métalliques volatils sur des composés oxygénés fixes ou volatils à de hautes températures; il peut être appliqué dans un grand nombre de cas, par la raison que les fluorures métalliques ne sont presque jamais doués d'une fixité absolue.

1° *Corindon*. On le prépara aisément et en remarquables cristaux en introduisant du fluorure d'aluminium dans un creuset en charbon, au-dessus duquel on assujettit une petite coupelle de charbon remplie d'acide borique. Le tout est muni d'un bon couvercle, et chauffé au blanc pendant une heure environ. La vapeur de fluorure d'aluminium rencontre celle d'acide borique,

et leur action mutuelle donne naissance à du fluorure de bore et à du corindon; on obtient ce minéral à l'état de cristaux très-larges, ayant souvent un centimètre de long, mais en général peu épais. Ces cristaux sont des rhomboèdres avec les faces du prisme hexagonal régulier; ils n'ont qu'un axe, sont négatifs, et présentent la dureté du corindon naturel et toutes ses propriétés physiques et chimiques.

2° Le *Rubis* s'obtient de la même façon; on ajoute au fluorure d'aluminium un peu de fluorure de chrome et l'on opère dans des creusets d'alumine, en ayant soin de placer l'acide borique dans une coupelle en platine. La teinte de ces rubis, qui est due au sesquioxyde de chrome, est exactement celle du rubis naturel.

3° Le *Saphir* bleu se produit dans des circonstances semblables aux précédentes; la coloration est également obtenue avec l'oxyde de chrome; il y a seulement une différence dans les proportions de matière colorante et peut-être dans l'état d'oxydation du chrome; mais la quantité de matière colorante est si petite dans ces composés, que l'analyse ne peut rien indiquer de précis à cet égard.

4° *Corindon vert.* Quand on augmente la dose d'oxyde de chrome, les cristaux sont d'un beau vert, semblable à celui que présente l'*ouvarowite* que M. Damour a analysée, et où il a rencontré 25 p. 100 d'oxyde de chrome.

5° *Fer oxydulé.* La réaction du sesquifluorure de fer sur l'acide borique fournit de longues aiguilles composées d'un chapelet d'octaèdres réguliers de fer oxydulé; ce qui indique une réduction partielle du sesquioxyde de fer par une température très-élevée.

6° *Zircone.* La zircone produite par ce procédé est en cristaux réguliers groupés sous forme d'arborisations d'un très-bel effet; elle est insoluble dans les acides minéraux, même concentrés, elle est inattaquable par la potasse fondue; mais le bisulfate de potasse la dissout en laissant le sulfate double insoluble caractéristique de la zircone.

7° *Staurotide* et silicates divers. Si l'on remplace l'acide borique par la silice, on peut obtenir, avec les fluorures volatils, des silicates en cristaux, petits, mais très-nets; c'est ainsi qu'on prépare la staurotide, qui se présente alors avec l'aspect et la composition de la staurotide naturelle; c'est un silicate basique dont la formule est $SiAl^2$. Cette substance s'obtient aussi avec facilité en chauffant de l'alumine dans un courant de fluorure de silicium gazeux. L'alumine se change en cristaux entrelacés qui ont la composition de la staurotide. Ces deux méthodes sont applicables aux silicates dont les bases donnent des fluorures volatils, tels que la glucine et l'oxyde de zinc.

Ces expériences viennent à l'appui de l'opinion émise par certains géologues que le fluor est intervenu dans la production des minéraux des filons.

PILE ÉLECTRIQUE. Une nouvelle disposition de la pile électrique, due à M. Marié Davy, professeur de physique, offre des avantages particuliers qui la font essayer avec grand soin pour la télégraphie électrique. Elle n'a pas les inconvénients des dégagements de vapeurs nitreuses si incommodes de la pile de Bunsen, et, relativement à la pile de Daniell, si simple et si commode du reste, elle offre l'avantage d'éviter l'incrustation des vases poreux par le métal réduit, grâce à l'emploi d'un métal liquide, avantage compensé en partie par la moindre solubilité du sel métallique. C'est en remplaçant le sulfate de cuivre par du sulfate de mercure, et le cuivre par un cylindre de charbon, que s'obtient la nouvelle pile. Les choses s'y passent avec le sulfate de mercure comme elles se passaient avec le sulfate de cuivre, si ce n'est que la réduction du sel, au lieu de donner un produit galvanoplastique, fournit du mercure coulant qui se détache à mesure et laisse intacte la surface du charbon.

Le sulfate de mercure se dissout en partie dans l'eau qui l'imprègne; puis, à mesure que la partie dissoute est réduite par l'électrolisation, elle est remplacée par d'autres jusqu'à ce que finalement tout le sel disparaisse. Et ce qui prouve que réellement la dissolution a lieu, c'est qu'à travers le vase poreux il en passe assez d'une cellule dans l'autre pour maintenir le zinc constamment amalgamé. Cette particularité est pour la nouvelle pile un avantage qui sera vivement apprécié par tous ceux qui ont manié l'appareil voltaïque, et qui ont reconnu par expérience l'importance de l'amalgamation du zinc et la difficulté de la maintenir. Dans la pile de Daniell, la transsudation du sulfate de cuivre à travers le vase poreux a non-seulement l'inconvénient d'occasionner sur le zinc des actions locales qui s'exercent en pure perte; mais en outre elle donne naissance à des dépôts floconneux de cuivre réduit, qui se prolongent jusque dans l'épaisseur du vase poreux, et déterminent la formation d'incrustations métalliques qui, se développant, oblitèrent les pores de la terre dégourdie, et mettent bientôt le vase hors de service. Rien de pareil n'arrive avec le sulfate de mercure.

A l'administration des télégraphes, 38 couples de la nouvelle pile ont été mis à l'essai côte à côte avec 60 couples de Daniell pour faire le service permanent du jour et de nuit; du 28 juin au 25 décembre, autrement dit pendant près de six mois, sans aucun entretien, ils ont fait fonctionner les appareils. Pendant toute la durée d'une aussi longue épreuve, la surface des zincs est restée aussi nette que le premier jour, et les nécessités de l'entretien se sont exactement bornées à l'obligation de réparer une fois par mois environ les pertes que l'évaporation faisait subir à l'eau du vase poreux.

Au moment où la pile n'a plus été assez forte pour faire le travail de la ligne, les vases poreux contenaient un fort culot de mercure métallique pur et une boue noirâtre dans la partie supérieure. Ces produits, traités par l'acide sulfurique, procurent de nouveau sulfate.

La préparation et l'emploi de la pâte de sulfate de mercure ne présentent aucune difficulté. On délaye dans de l'eau le sel que l'on a préalablement bien pulvérisé; on laisse reposer, on décante, et il reste une masse pâteuse légèrement jaunie par du sous-sulfate. On prend ensuite les charbons que l'on tient à la main bien au milieu du vase poreux, et on remplit complétement les vides avec la pâte de sulfate, en s'aidant d'une spatule en bois; on distribue ensuite dans les divers vases la liqueur acide qui a été décantée, et on achève de remplir avec de l'eau pure.

PILOTIS, PIEUX A VIS. Le battage des pieux est une des opérations les plus fréquentes des travaux de fondation des ouvrages hydrauliques. Soit qu'il s'agisse de fonder avec caissons ou grillage sur pilotis, de construire une enceinte en charpente en lit de rivière, d'installer un pont de service, etc., on se trouve conduit à enfoncer dans le sol naturel des pièces de bois plus ou moins fortes, destinées à fournir des points d'appui suffisamment résistants.

La lenteur, le prix élevé et souvent la difficulté même du battage des pieux, ont conduit les ingénieurs depuis un certain nombre d'années à remplacer par des appareils mus par la vapeur les anciennes machines à bras employées au battage des pieux et à réduire d'ailleurs, autant que possible, l'emploi des pilotis en bois, en remplaçant cet ancien mode de fondation par des procédés plus puissants et plus en rapport avec les progrès récents de l'emploi des machines et des métaux dans les constructions.

On décrira, dans ce qui va suivre, quelques moyens nouveaux d'enfoncer les pieux, en renvoyant d'ailleurs à l'article FONDATIONS TUBULAIRES, page 257, pour les procédés d'établissement de certains grands ponts.

On sait que le battage des pieux s'exécute à l'aide d'une masse d'un poids assez considérable, que l'on soulève à une certaine hauteur pour la laisser retomber ensuite sur la tête du pieu à enfoncer. L'élévation de cette masse pesante, que l'on nomme mouton, a lieu à l'aide d'un appareil appelé sonnette, que tout le monde connaît.

On a imaginé un grand nombre de dispositions pour appliquer aux sonnettes ordinaires l'action d'un moteur mécanique. Parmi les nombreuses solutions de ce problème, il suffira de citer les deux suivantes :

La sonnette que l'on décrira d'abord a été imaginée par M. J. Bower, et brevetée en Angleterre le 3 février 1853. Sa disposition générale ne présente rien de particulier, mais le mouton est soulevé par des taquets fixés sur une chaîne sans fin, qui s'enroule sur une roue ou un treuil animé d'un mouvement continu de rotation.

Les figures 3673, 3674 et 3675 feront facilement comprendre la disposition générale et les détails de cet appareil simple et ingénieux.

En arrière du bâti B de la sonnette (fig. 3673) est

Fig. 3673. — Élévation latérale de la sonnette.

placé un treuil G sur lequel s'enroule une corde ou une chaîne sans fin V.

Des taquets W, fixés sur cette chaîne, s'engagent successivement dans une pince placée sur la tête du mouton P et le soulèvent jusqu'à ce que la pince soit ouverte par le décliqueteur fixe R. Le mouton dégagé tombe et vient frapper la tête du pieu en fiche A. La chaîne sans fin V continue son mouvement. Un second taquet vient immédiatement s'engager dans la pince ; le mouton s'élève de nouveau jusqu'en R pour retomber sur le pieu. Ces chocs successifs se reproduisent aussi longtemps que le treuil G continue à tourner.

Le décliqueteur R se fixe à la hauteur convenable entre les montants de la sonnette à l'aide de la vis de pression S.

La distance des taquets sur la chaîne sans fin est réglée en raison de sa vitesse et de la hauteur de chute, de manière à ce qu'il y ait le moins de temps perdu possible entre chaque chute du mouton et l'élévation suivante.

La fig. 3674 fait voir, sur une plus grande échelle, la disposition du taquet W sur la chaîne sans fin V.

Fig. 3674. — Taquet de la chaîne.



Enfin la figure 3675 montre clairement en perspective la forme de la pince à déclic fixée sur la tête du mouton. Le taquet est plus gros que la petite branche quand elle est fermée, et entraîne, par conséquent, le mouton dans son mouvement ascensionnel.

Le décliqueteur R en forme de coin (fig. 3673) s'introduit entre les longues branches (fig. 3675) de cette pince, les écarte et fait ouvrir l'autre extrémité, qui laisse alors passer le taquet W : ce qui détermine la chute du mouton.

Fig. 3675. — Vue du mouton et de son déclic.

La chaîne sans fin VV (fig. 3673) passe sur deux poulies de renvoi A et K, placées entre les montants du bâti de la sonnette. Ces poulies servent à régler la tension de la chaîne sans fin, quand la longueur se modifie, ou bien quand on change la position relative du treuil et de la sonnette.

La poulie inférieure est tirée de haut en bas par le ressort à boudin fixé au patin de la machine.

La position de la poulie supérieure K est réglée à l'aide d'une vis, qui traverse un écrou fixe placé entre les montants.

Une disposition plus simple encore et qui a reçu la sanction de nombreuses applications a été imaginée par M. Janvier, ingénieur des ponts et chaussées, attaché au service du port de Toulon (*Annales des ponts et chaussées*, 1856, t. I, p. 6).

Les figures feront facilement comprendre cette application remarquable par la simplicité de la machine locomobile aux travaux des chantiers de construction.

La locomobile est montée sur la plate-forme d'une grande sonnette ordinaire (fig. 3676), installée sur un ponton, ou roulant sur des rails parallèles à la ligne de pieux à enfoncer, comme l'indique la figure. L'arbre moteur des treuils de mise en fiche et de battage communique par un enclanchement avec l'arbre A (fig. 3677

qui porte la poulie où s'enroule la courroie de la locomobile. Un levier F permet d'embrayer l'arbre A et

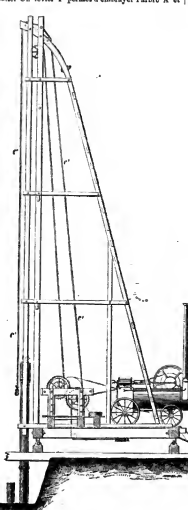


Fig. 3676 — Élévation latérale d'une sonnette à vapeur. (Echelle de 0,01.)

celui des treuils. Un autre levier semblable, que l'on voit à droite, sort à engrener, selon le besoin, le treuil de mise en fiche en le treuil du mouton avec l'arbre moteur.

Cela posé, le battage d'un pieu s'exécute comme en va l'indiquer.

La sonnette étant amenée au-dessus de l'emplacement du pieu à enfoncer, on arrête le mouton à la hauteur d'une des moises en arrêtant le tambour du treuil par un taquet, et, de plus, pour éviter tout accident, en le supportant sur une barre placée

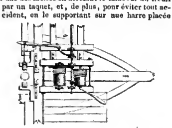


Fig. 3677. — Plan des treuils de la sonnette à vapeur. (Echelle de 0,01.)

transversalement sur les moises. Un manœuvre est à la fourchette de débrayage F, un second à l'autre fourchette. Le mécanicien, attentif au commandement, a la main sur le levier de mise en marche de la machine. Il faut d'abord mettre en fiche. Un gabier accroche le pilot avec la corde c', le manœuvre de la fourchette *f* engrène le tambour de mise en fiche, et le manœuvre de la fourchette F enclanche l'arbre moteur avec l'arbre du pignon. Le gabier commande : *En avant!* la machine à vapeur tourne et soulève le pilot. Quand il est assez élevé, au commandement de *stop*, la machine s'arrête, on engage le pieu dans les coulisses de la sonnette. Au commandement : *En arrière!* la machine tourne en sens contraire et laisse descendre le pieu. Il s'enfonce un peu dans le sol par son poids, on le cale et on l'assujettit. On détache alors la corde de mise en fiche, on déclanche le tambour de mise en fiche, et on engrène le treuil du mouton. Au commandement : *Un tour en avant!* la machine soulève le mouton d'une petite quantité, qui permet d'enlever la barre et le taquet d'arrêt. *En arrière, doucement!* et le mouton vient se poser sur la tête du pieu et achève, par son poids, de la mettre en fiche.

Le battage proprement dit peut alors commencer. Le gabier commande : *En avant!* le mouton s'élève rapidement, la tenaille vient s'engager dans la cheminée, le poids de celle-ci la fait ouvrir et le mouton tombe; la tenaille, débarrassée du mouton, continuant à monter, la cheminée est soulevée. Dans ce mouvement, elle tire une chaînette attachée à la fourchette F, et, par suite, prévient le manœuvre qu'il faut déclancher l'arbre A. Dès lors le tambour du mouton se trouvant libre, la corde du mouton se déroule. La cheminée s'arrête sur ses boulons de retenue, et la pince, continuant son chemin, vient accrocher le mouton. On enclanche aussitôt l'arbre moteur, et le mouton s'élève de nouveau pour continuer la même série d'opérations jusqu'à ce que le pilot soit battu au refus.

La mise en place d'un faux pieu se comprend sans difficulté d'après ce qui précède. Le déplacement de la sonnette s'effectue à l'aide de leviers, quand il s'agit de mouvements peu considérables. La machine à vapeur sert au contraire à effectuer les déplacements de quelque importance. A cet effet, une corde attachée à un point fixe situé dans la direction à parcourir vient passer sur des poulies de renvoi placées sous la plate-forme de la sonnette, et s'enroule

sur le treuil de mise en fiche, qui sert ainsi à remorquer tout l'appareil.

La même installation de sonnette peut avoir lieu sur un ponton pour battre dans l'eau ; tous les mouvements de l'appareil se font alors avec la plus grande facilité.

Le mouton de la sonnette dont il s'agit pèse 800 kilogrammes, et la tenaille 50. La locomobile donnant de 80 à 90 coups par minute, le mouton frappe 100 à 110 coups en moyenne par heure. La même sonnette, manœuvrée à bras par deux gabiers et six manœuvres, ne donne que 16 à 18 coups. Tandis que l'on bat 1 pilot à bras, on en bat 3,37 à la vapeur.

La journée de la sonnette conduite à bras coûte 21 francs; savoir :

Deux gabiers à 3 francs	6f,00
Six manœuvres à 2f50.	15,00
	21,00

La journée de la même sonnette conduite à la vapeur revient à 27 francs; savoir :

Un mécanicien.	3,50
Un chauffeur.	2,50
Deux gabiers.	6,00
Deux manœuvres	5,00
Quart de journée de porteur d'eau . .	0,50
Bois à brûler, déchets de pilotage. . .	6,50
Huile, graisse, chiffons.	0,50
Intérêt et amortissement de la machine (3,000 fr.).	2,50
Amortissement du châssis.	0,50
	27,50

Dans ces conditions, le battage à bras d'un pilot revenait à 14f,05, et celui du battage à vapeur, à 4,25 seulement.

Dans les travaux de battage très-considérables où le terrain présente des difficultés exceptionnelles, et où l'on est pressé de gagner du temps, on emploie une machine spéciale connue sous le nom de pilon à vapeur de Nasmyth.

On décrira ici la machine de cette espèce qui a été employée au viaduc de Tarascon, sur le Rhône, où elle a produit des résultats excellents et impossibles à réaliser avec les sonnettes à déclic les plus puissantes.

La nature du terrain rendait très-difficile l'enfoncement des pieux. D'après la manière dont le battage avait marché, on pensa qu'un certain nombre de pieux avaient dû se briser dans le sol. Une circonstance imprévue est venue éclaircir cette question de manière à ne laisser aucun doute. Une palée du pont de service, que l'on n'avait pas eu le temps d'enrocher, ayant été affouillée par une crue subite, est restée suspendue au pont de service par l'intermédiaire de la haute palée, de sorte que tous ces pieux, flottant comme des bois amarrés, ont pu être démontés, examinés et mesurés. Aucun pieu n'avait conservé son sabot, et tous les bois étaient cassés dans le sol et sur des hauteurs variables atteignant 4 mètres. Après une telle expérience, il était impossible de ne pas considérer le battage au déclic comme tout à fait insuffisant pour les enceintes, surtout pour les piles à établir sur les parties peu profondes du Rhône, enceintes que l'on devait draguer à 8 ou 9 mètres sous l'étiage; c'est pourquoi on a jugé nécessaire d'essayer le battage à la vapeur d'après le système Nasmyth. Un pilon à vapeur acheté en Angleterre au prix de 39,380 fr. 27 c., transport et droits de douane compris, a été essayé et a donné, après d'assez longs tâtonnements et des modifications importantes, des résultats tellement satisfaisants, qu'il a été employé exclusivement, sur les points difficiles, au battage de 682 pieux. L'emploi du déclic n'a plus été admis que pour les palées.

L'appareil du pilon à vapeur posé sur la tête du pieu pesait 4,000 kilogr. ; son mouton, du poids de 1,500 kilogr., battait de 80 à 100 coups par minute, avec une chute de 0m,98; le pieu se trouvait ainsi continuellement ébranlé et pénétrait de 8 à 10 mètres dans un terrain où les sonnettes à déclic les plus puissantes ne pouvaient pas lui donner plus de 5 mètres de fiche. Dans ces circonstances, le battage d'un pieu s'exécutait en une dizaine de minutes, c'est-à-dire en trois ou quatre fois moins de temps que n'en exigeait la mise en fiche. Où le battage au déclic coûtait 35 à 40 francs par pieu, le battage à la vapeur est revenu de 15 à 17 francs, y compris les réparations de l'appareil.

La machine (fig. 3676) est portée sur une plateforme mobile sur deux rails parallèles à la ligne de pieux à battre. Ces rails sont posés sur un échafaudage ou sur un bateau.

Les parties principales de l'appareil sont les suivantes :

1° Une petite machine à vapeur destinée à faire fonctionner successivement, selon les besoins, ou le treuil sur lequel s'enroule la chaîne qui supporte le pilon à vapeur, ou un tambour sur lequel s'enroule la chaîne servant à soutenir le pieu à mettre en fiche, ou enfin à faire avancer sur ses rails, dans un sens ou dans l'autre, l'ensemble du mécanisme.

2° Le pilon à vapeur proprement dit, suspendu à l'aide d'une chaîne passant sur la poulie placée au haut de la bigue, et assujetti à glisser le long de cette bigue par quatre brides à crochets fixées sur la boîte en tôle où se meut le mouton, et embrassant les bords de fortes bandes de tôle boulonnées sur cette pièce de bois.

Cette petite machine auxiliaire et le pilon sont alimentés par une même chaudière à vapeur. On va décrire successivement ces deux parties du mécanisme.

Machine auxiliaire. — L'échelle de la figure ne permet pas de suivre tous les détails du mécanisme, mais elle suffit pour bien indiquer sa disposition générale. On aperçoit nettement la roue d'angle qui transmet le mouvement à l'essieu des galets qui portent toute la plate-forme. L'arbre de cette roue d'angle porte le tambour sur lequel s'enroule la petite chaîne de manœuvre du pieu à mettre en fiche. Un autre tambour, placé plus à gauche, reçoit la grosse chaîne qui sert à remonter l'appareil du pilon à vapeur. Des embrayages convenablement disposés permettent de ne faire fonctionner que les parties du mécanisme nécessaires pour chaque manœuvre.

La bâche et la pompe d'alimentation sont à droite de la plate-forme, en dehors de la ligne de rails.

Voici les principales dimensions de la machine à vapeur auxiliaire :

Diamètre du cylindre de la machine à vapeur.			0m,145
Course du piston.			0m,272
Lumières du cylindre.	Arrivée de la vapeur.	Longueur.	0m,022
		Largeur. .	0m,078
	Échappement	Longueur.	0m,034
		Largeur. .	0m,078
Diamètre du plongeur de la pompe alimentaire.			0m,090
Course.			0m,108

Pilon à vapeur. — La vapeur est introduite dans le cylindre du pilon par un tuyau en fonte de 0m,06 de diamètre intérieur, articulé à l'aide de genouillères, de manière à suivre, en se développant plus ou moins, le cylindre dans toutes ses positions depuis le sommet jusqu'au bas de la bigue.

La tige du piston est liée au mouton comme l'indi-

quent les lignes ponctuées de la fig. 3679. Des rondelles un peu élastiques empêchent les chocs de se transmettre au piston avec toute leur violence.

Dans la première machine, le mouton frappait directement sur la tête du pieu, et ne tardait pas à l'écraser. On était obligé de le receper et de remettre une frette, ce qui entraînait une perte de temps considérable. L'emploi d'un faux pieu, disposé comme l'indique la partie inférieure de la fig. 3679, a fait disparaître cet inconvénient. Le faux pieu en bois de frêne transmettait parfaitement les chocs et s'usait fort peu, car on a pu battre quatre-vingts pieux sans le remplacer.

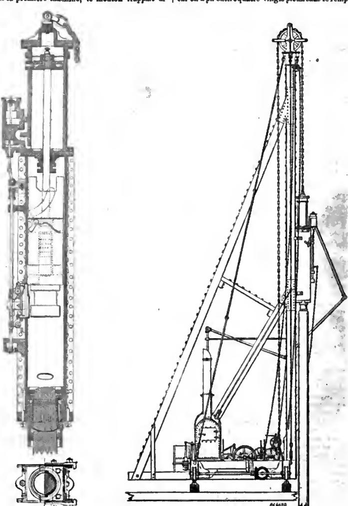


Fig. 3678. — Coupe du piston à vapeur, la boîte du mouton. (Échelle de 0,03.)

Fig. 3679. — Élévation latérale du marteau-pilon de Nasmyth. (Échelle de 0,008.)

Ainsi que le montre la disposition du tiroir et du cylindre, la vapeur ne peut être introduite que sous le piston; elle sert à soulever le mouton qui redescend par son propre poids, en entraînant le piston, aussitôt

que l'échappement de la vapeur peut avoir lieu dans l'air extérieur.

Les ouvertures pratiquées à la partie supérieure du cylindre (fig. 3679) servent à laisser sortir l'air lorsque le piston remonte, et à le laisser rentrer lorsqu'il descend. La capacité fermée de toutes parts, ménagée au-dessus de ces ouvertures, forme un matelas d'air qui empêche le piston de venir, en vertu de sa vitesse acquise, frapper le fond supérieur du cylindre.

Le tiroir et le mécanisme de distribution appliqués à ce genre de machine à vapeur présentent des dispositions spéciales utiles à signaler.

Le tiroir (fig. 3679) est fixé, d'une part, à sa tige de mouvement, qui traverse la boîte à étoupes de la partie inférieure de la chambre de distribution, et, d'autre part, à la tige d'une espèce de piston plongeur glissant dans la boîte à étoupes placée à la partie supérieure de cette même chambre de distribution.

La pression de la vapeur, en agissant sur ce piston, tend constamment à le soulever et à ramener le tiroir dans la position opposée à celle que représente la figure, c'est-à-dire dans la position où le tiroir fait communiquer le cylindre avec la chaudière, et non pas avec le tuyau d'échappement.

Le tiroir est donc ainsi constamment sollicité de bas en haut, comme il le serait par un ressort puissant; le mécanisme de distribution n'a d'autre fonction que de faire agir ou de supprimer l'action de cette force en temps opportun; à cet effet, le corps du mouton en remontant, avant d'arriver à la limite supérieure de sa course, rencontre le levier coudé dont la grande branche est figurée en lignes ponctuées dans le haut de la boîte en tôle (fig. 3679), et dont la petite branche s'engage dans l'œil de la tige directrice du tiroir. La grande branche de ce levier, ainsi poussée de bas en haut, produit naturellement sur l'extrémité de la petite branche un mouvement de haut en bas qui amène le tiroir dans la position indiquée par la figure. Pendant ce mouvement, un doigt porté par le mécanisme que l'on voit au bas de la boîte en tôle, près de la tête du mouton, et constamment poussé par un ressort qui le presse contre la tige directrice du tiroir, vient s'appuyer contre un talon venu de forge sur cette tige. Ce doigt ou taquet s'oppose au relèvement de la tige du tiroir et du tiroir lui-même; de sorte que l'échappement de la vapeur a lieu aussi longtemps qu'un nouvel effort ne vient pas enlever le doigt de la position qu'il a prise au moment de l'abaissement du tiroir par l'action du premier levier dont on a parlé.

Mais aussitôt que la communication du cylindre avec l'ouverture d'échappement a été établie comme on vient de le dire, le mouton retombe par son propre poids en entraînant le piston avec lui. Dans sa chute, il presse, par un levier logé dans l'intérieur de sa masse, sur le grand côté d'une espèce de parallélogramme faisant saillie dans l'intérieur de la caisse en tôle, et qui porte le doigt qui retenait la tige directrice du tiroir dont on a déjà parlé. Cette pression, ou plutôt ce choc, produit l'échappement du doigt ou taquet de retenue; le tiroir se trouve libre alors d'obéir à la pression de la vapeur qui tend à le relever, la lumière d'échappement de vapeur se trouve fermée et celle d'introduction ouverte de nouveau. Le piston remonte en soutenant le mouton, et la succession de mouvements que l'on vient de décrire peut se produire de nouveau.

Si, par une cause accidentelle, le mécanisme de déclanchement du doigt d'arrêt ne fonctionne pas au moment de la chute du tiroir, il suffit, pour produire le même effet, de tirer une corde ou une chaîne attachée au levier de ce mécanisme.

L'extrémité inférieure de la tige directrice du tiroir porte un piston engagé dans une capacité alésée, dont l'air fait matelas pour amortir les chocs qui résulteraient dans le mécanisme du mouvement rapide d'ascension du tiroir, lorsque la vapeur agit tout à coup pour le faire remonter.

Voici les dimensions principales du mouton à vapeur et de la chaudière qui met en jeu toutes les parties du mécanisme :

Longueur du foyer	$0^{m},685$
Largeur du foyer	$0^{m},835$
Hauteur de la boîte à feu au milieu du dôme	$1^{m},060$
Hauteur de la boîte à feu sur les côtés	$0^{m},900$
Nombre des tubes	45
Diamètre intérieur des tubes	$0^{m},040$
Diamètre extérieur des tubes	$0^{m},048$
Surface intérieure des 45 tubes	$15^{mq},7694$
Surface de chauffe directe	$3^{mq},6538$
Surface de chauffe réduite	$8^{mq},9102$
Surface de chauffe totale	$19^{mq},4229$
Surface de la grille	$0^{mq},572$
Longueur des tubes	$2^{m},790$
Diamètre intérieur de la partie cylindrique de la chaudière	$0^{m},700$
Diamètre extérieur de la partie cylindrique de la chaudière	$0^{m},726$
Diamètre intérieur de la cheminée	$0^{m},32$
Hauteur de la cheminée au-dessus de la boîte à fumée	$2^{m},90$
Hauteur de la cheminée au-dessus de la grille	$4^{m},35$
Capacité de la chaudière, espace occupé par l'eau et la vapeur	$2^{mc},220$
Capacité de la bâche	$0^{mc},740$
Section de la lumière du cylindre du pilon	$0^{m},150 \times 0^{m},032$
Diamètre du piston	$0^{m},354$
Course du piston ou volée du mouton	$0^{m},82$
Poids du mouton seul	1,150 kil.
Poids du piston et de sa tige	350 kil.
Poids de la caisse du mouton, du cylindre et de toutes les pièces qui composent le pilon proprement dit	4,000 kil.
Tension de la vapeur employée	3 atm. et demi.

Il est maintenant facile de comprendre la manœuvre du battage d'un pieu à l'aide du pilon à vapeur placé sur un bateau ou ponton flottant.

Après avoir amarré le bateau à l'emplacement du battage, au moyen de cordes enroulées sur deux treuils et sur un cabestan, on relève jusqu'au sommet de la higue la caisse en tôle qui renferme le pilon en faisant fonctionner le treuil de la grande chaîne. On procède alors à la mise en place du pieu à battre en le hissant au moyen de la petite chaîne et du treuil correspondant, et en le maintenant verticalement le long de la higue à l'aide de cordes, comme on le ferait pour une sonnette ordinaire. Lorsque le pieu est en place et que sa pointe repose sur le sol, on laisse descendre sur sa tête le pilon à vapeur. Ce mouvement décharge le bateau du côté du pilon; pour rétablir l'équilibre, on rapproche du bord opposé deux waggons chargés de lest disposés à cet effet. On donne alors, avec précaution, quelques coups de mouton pour faire prendre fiche au pieu, et aussitôt qu'il présente une stabilité suffisante on le dégage des amarres qui le maintenaient vertical et on bat jusqu'au refus le plus activement possible.

En moyenne, la mise en fiche a exigé une heure; un enfoncement de 9 mètres exigeait trente volées de cinquante coups, ou quinze cents coups de mouton. La durée d'une volée est de 1',2",5, soit 1",25 par coup. Le refus était fixé à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$.

Les pieux battus au pilon ont traversé en moyenne une couche de gravier plus épaisse de 3 mètres au moins

que les pieux battus au déclic, et on a vu que ceux-ci étaient presque toujours brisés, tandis que ceux battus au mouton n'ont éprouvé que de rares accidents. A ces avantages s'ajoute une grande économie.

La dépense quotidienne d'une sonnette, au pont de Tarascon, était en effet, en moyenne, la suivante :

Un marin.	4f,00
Un charpentier enrimeur, chef d'atelier . .	5 00
Huit manœuvres de choix.	24 00
Faux frais, cordages, graisse	2 00
Dépense quotidienne. .	35f,00

Le battage des pieux à la sonnette a été payé de 40 à 45 francs. A cette somme il faut ajouter 10 francs pour détérioration des appareils, ce qui porte la dépense d'un pieu battu au déclic de 50 à 55 francs.

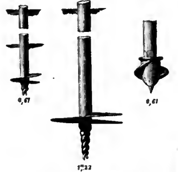
La dépense du battage d'un pieu à la vapeur s'établit, au contraire, de la manière suivante, en moyenne :

Un mécanicien	5f,00
Un chauffeur	3 00
Un charpentier enrimeur	4 50
Deux marins	8 00
Deux aides-marins.	6 50
Quatre manœuvres ordinaires	10 00
Salaires.	37f,00
Combustible de mise en train, extinction et temps perdu pendant une journée de dix heures, 450 kil. à 3 fr.	13 50
0f,60 par volée de 50 coups, soit par huit pieux ou 240 volées, moins de 150 kil.	4 50
Réparations, 6f,18 par pieu, soit pour huit pieux.	49 44
Faux frais, huile, etc.	4 00
Dépense quotidienne. . . .	108f,44
Soit par pieu.	13 50
On peut tenir compte de la moins-value de l'appareil, qui a été vendu 25,000 fr., en ajoutant par pieu.	21 52
Dépense totale.	35f,02

Un dernier mode d'enfoncement des pieux de fondation dont l'usage se répand beaucoup, et qui permet d'exécuter des travaux impossibles à entreprendre autrement, doit encore être signalé. Nous voulons parler des pieux à vis imaginés par M. A. Mitchell de Belfast. Les pieux de cette espèce présentent une très-grande résistance à l'arrachement ou à la compression, et permettent d'établir des constructions solides sur des sols et dans des conditions extrêmement difficiles.

Fig. 3680. — Pieux en fer forgé.

Pour ponts (63 kil.) — Pour phares (305 kil.) — Dans une roche madréporique.



La forme des vis Mitchell varie nécessairement beaucoup avec la nature du terrain et le but à atteindre. Comme le montrent les figures, la vis est large et le

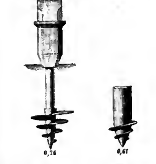


Fig. 3681.—Vis et sabot en fonte réunis par une tige en fer, pour porter un pieu de bois (457 kil.)

Fig. 3682.—Vis en fonte pour terrain résistant (190 kil.)

filet fait peu de tours pour les terrains peu résistants; au contraire, dans les terrains très-durs et dans le rocher, on le réduit à une espèce de tarière de forme conique, à filets peu saillants et faisant plusieurs tours.

L'enfoncement de ces vis est extrêmement simple. On place sur la tête du pieu des barres de cabestan, auxquelles on imprime un mouvement de rotation. La vis s'enfonce ainsi jusqu'à ce qu'on rencontre un terrain suffisamment résistant pour l'effort à supporter.

Les vis Mittchell s'appliquent aussi bien aux constructions les plus considérables qu'aux usages les plus ordinaires. Elles conviennent très-bien, par exemple, pour poser rapidement et solidement, avec peu de main-d'œuvre, des montants de grilles, de barrières, des poteaux télégraphiques, des palées de ponts de service, etc. Ce mode de fixation des pieux est appelé à rendre de grands services à l'art des constructions.

HERVÉ MANGON.

PISCICULTURE. Les recherches qui se sont multipliées depuis que l'on a cherché à développer les moyens directs de production des poissons, de fécondation des œufs, ont bien souvent échoué, et l'expérience a ramené sur un terrain plus pratique que celui sur lequel on s'était d'abord placé. Je donnerai une connaissance très-satisfaisante des résultats obtenus en rapportant ici les règles pratiques fixées par un homme très-expérimenté, M. Millet, inspecteur des forêts, qui depuis longtemps s'occupe de pisciculture. Il a fait à la Société d'encouragement, dans la séance du 9 juillet 1856, une communication verbale dans laquelle il a exposé les modifications et les perfectionnements qu'il a apportés dans la récolte, la fécondation, le transport et l'éclosion des œufs, dans l'établissement des frayères artificielles, et dans la dissémination et l'élevage des jeunes poissons ; il a, en outre, décrit divers appareils servant à l'éclosion des œufs, à la conservation et au transport des poissons vivants.

Voici, à ce sujet, les différentes instructions données par M. Millet.

1° La pêche des poissons destinés aux opérations de fécondation artificielle doit être faite de telle sorte que les œufs et la laitance soient arrivés à un état convenable de maturité et se présentent dans un état parfaitement sain. A cet effet, il recommande de faire la pêche, autant que possible, sur les frayères mêmes ou à proximité de ces frayères. Il indique qu'on doit éviter avec soin de tenir le poisson en captivité, parce que plusieurs espèces (l'ombre notamment) ne sauraient supporter cet état, dans lequel les œufs et la laitance tendent toujours à s'altérer.

2° Pour plusieurs de nos meilleures espèces, continue l'auteur, telles que saumon, truite, ombre, etc., la ponte est successive et s'opère souvent à plusieurs jours d'intervalle ; aussi doit-on tenir compte de cette circonstance pour ne prendre les œufs et la laitance que lorsqu'ils sont complétement mûrs, on bien lorsqu'ils s'écoulent soit naturellement, soit sous une faible pression.

3° La vitalité des spermatozoïdes, et, par conséquent, l'action fécondante de la laitance sont de très-courte durée, notamment chez les salmonoïdes (saumon, truite, ombre, etc.) ; cette durée n'étant souvent que de quelques secondes, les œufs doivent donc être mis en contact avec les particules de la laitance à mesure qu'elles tombent dans l'eau. En conséquence, on doit opérer simultanément d'une part avec une femelle, et d'autre part avec un mâle, en ayant soin de ne pas diluer la laitance dans l'eau.

4° Toute eau contenant en dissolution, comme l'eau de mer, du chlorure de sodium, fût-ce même en faible proportion, agit d'une manière très-énergique sur les œufs et la laitance des poissons d'eau douce ; elle paralyse ou annihile les mouvements des spermatozoïdes et leur fait perdre leur pouvoir fécondant : elle cause, en outre, dans l'œuf, une perturbation telle, que tout genre d'organisation y est promptement détruit ; cependant cette action ne s'exerce que dans la première période de l'incubation.

5° Le développement de l'embryon peut s'effectuer en dehors de l'eau, pourvu qu'il ait lieu dans un milieu humide et aéré et sous des conditions de température appropriées à chaque espèce. Cette propriété permet de transporter, à de grandes distances, des œufs fécondés. Pour cela, on les place par couches dans des caisses en bois, en ayant soin de les disposer de telle sorte que chaque couche soit comprise entre deux linges humides. Grâce à ces soins, des œufs de saumon, de truite et d'ombre ont pu, sans souffrir la moindre altération, supporter des transports d'une durée de trente-cinq à quarante jours.

6° L'incubation s'effectue dans d'excellentes conditions lorsque les œufs reposent sur des claies tenues en suspension dans l'eau, ou mieux encore lorsqu'ils sont disposés au milieu des eaux naturelles dans des appareils flottants.

7° Dans la nature, le saumon, la truite, etc., enterrent en quelque sorte leurs œufs entre des pierres pour que l'éclosion puisse avoir lieu à l'ombre ; aussi doit-on éviter d'exposer les œufs des salmonoïdes à l'action d'une vive lumière ou à celle des rayons solaires, si on ne veut les voir promptement périr. Selon M. Millet, c'est à ce manque de précaution que doit être attribué l'insuccès de grand nombre de pisciculteurs qui ont exposé leurs œufs à l'action des rayons solaires, et n'ont fait que rendre cette influence plus nuisible encore en les plaçant sur des claies formées de baguettes de verre.

8° Pendant la première période de l'incubation, on doit s'abstenir de remuer et de nettoyer les œufs. Tout déplacement ou nettoyage, soit à l'aide d'une plume, soit avec une brosse ou un pinceau, a pour effet de nuire au développement de l'embryon et de détruire une grande quantité d'œufs.

9° Au lieu d'élever et de nourrir les jeunes poissons dans des espaces circonscrits, il est préférable de les abandonner à eux-mêmes dans les eaux naturelles, en ayant soin, toutefois, de les protéger contre leurs ennemis.

10° En résumé, la pisciculture consiste moins dans la fécondation artificielle que dans l'art de favoriser la fécondation naturelle. Ainsi la fécondation artificielle ne peut être utilisée que pour un certain nombre d'espèces, et encore pour ces espèces ne donne-t-elle souvent que des résultats inférieurs à ceux que fournit la fécondation naturelle favorisée avec soin. De là l'utilité des frayères artificielles.

Frayères artificielles. — Les frayères artificielles ont pour but de venir en aide à la nature. M. Millet les organise de deux manières différentes, suivant le mode de ponte des diverses espèces de poissons :

Pour les poissons dont les œufs sont libres ou s'attachent aux pierres (saumon, truite, ombre, barbeau, etc.), il dispose le gravier ou les cailloux en tas ;

Pour ceux, au contraire, dont les œufs se fixent aux plantes aquatiques (carpe, tanche, brème, perche, etc.), il établit, sur les eaux, des claies garnies de brindilles ou de rameaux, et les munit de flotteurs qui leur permettent de suivre tous les mouvements de hausse ou de baisse du niveau, tout en conservant aux œufs l'humidité nécessaire.

Transport des poissons vivants. — Le transport des poissons vivants offre un grand intérêt, tant sous le rapport de l'approvisionnement des marchés qu'au point de vue des diverses opérations de pisciculture.

Quand il s'agit d'un long trajet et que le récipient est de petite dimension, le transport présente de grandes difficultés. Pour satisfaire aux exigences de la respiration des poissons, on est obligé d'agiter l'eau, de la fouetter pour l'alimenter d'air, et souvent même de la renouveler quand il s'agit d'espèces à respiration très-active.

Il a été récemment inventé, dans les Vosges, un appareil de transport à l'aide duquel on obtient l'agitation nécessaire de l'eau par la rotation continue d'une chaîne à godets ; mais, suivant M. Millet, cet appareil ne semble pas devoir réunir de bonnes conditions, surtout au point de vue de la simplicité et de la dépense. L'auteur cite alors le mode de transport qu'il a imaginé, et qui a servi à amener les poissons vivants qui ont figuré à l'Exposition de l'industrie et au Concours universel agricole. En étudiant le mode de respiration des poissons et les conditions d'absorption de l'air par l'eau, il a été conduit à injecter ou même à insuffler de l'air dans le liquide. Son appareil consiste en un soufflet ordinaire muni d'un tube qui plonge au fond du récipient, et l'on comprend la facilité avec laquelle on peut injecter de l'air suivant le besoin des diverses espèces à transporter. Lorsqu'il s'agit de faire voyager une grande quantité de poissons, ce qui nécessite l'emploi de plusieurs bâches ou cuves, on met tous ces récipients en communication, soit par des tuyaux adaptés à leur partie inférieure, soit au moyen de siphons, et à l'aide d'une petite pompe on prend l'eau dans la dernière cuve pour la rejeter dans la première par une pompe d'arrosoir. De cette manière, il s'établit un courant continu qui permet à l'eau d'absorber toute la quantité d'air nécessaire.

Des moyens d'alimentation. — On doit conclure des recherches sur la pisciculture, que sauf les cas d'acclimatation d'espèces nouvelles, l'alevin est toujours assez abondant, que l'assistance de frayères artificielles, tout au plus, est bien suffisant pour le rendre

excessif. Mais ce qui manque le plus souvent, ce sont les moyens d'alimentation ; c'est la loi de Malthus qu'il faut appliquer ici avant tout, ce ne sont pas les germes, c'est la subsistance qui limite la population.

Ce qu'il importe donc de multiplier, ce sont les espèces herbivores, comme Remy l'avait voulu faire pour les rivières, et pour les espèces marines, ce sont les bancs de moules sur les côtes, le premier mode de formation de matière animale qui vient fournir le nourriture de tous les autres qui se dévorent les uns les autres. L'étude des moyens d'alimentation doit accompagner celle de la production des espèces, comme le savent les propriétaires d'étangs, qui ont soin d'établir une proportion convenable entre les brochets et les carpes. Peut-être peut-on obtenir dans cette direction des résultats supérieurs à ceux que donne la production de poissons qui sont détruits presque aussitôt que créés, lorsqu'on les place dans des conditions où l'existence d'une quantité supérieure à celle qui y subsiste est impossible.

PLATINE. La famille des métaux du platine a un caractère particulier qui l'isole complétement des autres familles plus ou moins naturelles que l'on a formées avec les autres métaux. A part le palladium, que l'on ne rencontre d'ailleurs que très-rarement seul, ces métaux ne se trouvent pas séparés les uns des autres. Plus ou moins altérables sous l'influence du chlore et de l'oxygène, ils sont tous remarquables par la facilité avec laquelle ils cèdent aux réducteurs les éléments auxquels ils sont combinés. Ils possèdent tous la faculté curieuse de déterminer des actions chimiques par simple contact (action catalytique) ; cette propriété ne tient pas à l'état de porosité de ces métaux, car le platine fondu et travaillé la possède au même degré que la mousse.

Les différences essentielles que présentent les propriétés physiques et chimiques de ces métaux ne sont pas moins importantes à connaître que leurs analogies. Un coup d'œil jeté sur le tableau suivant permettra de s'en convaincre :

PRINCIPALES PROPRIÉTÉS DES MÉTAUX DU PLATINE.

1. *Osmium.* Considéré comme un métalloïde, en raison surtout de sa faculté de changer complétement de propriétés physiques et chimiques, suivant la manière dont il a été préparé.

a). *Osmium ordinaire* préparé par les procédés de Berzélius. Masse spongieuse, semi-métallique, exhalant une odeur très-sensible d'acide osmique. Densité = 7.

b). Obtenu en réduisant un mélange de vapeur d'acide osmique et d'hydrogène. Métallique. Densité = 10.

c). *Osmium pulvérulent.* Obtenu par MM. Deville et Debray en réduisant le sulfure d'osmium par la chaleur, métal brillant d'un bleu un peu plus clair que le zinc. Densité variant entre 21,3 et 21,4, supérieure à celle du platine. Cet osmium est sans odeur ; il peut être chauffé jusqu'à la température de fusion du zinc sans s'oxyder.

d). *Osmium cristallisé.* Obtenu par MM. Deville et Debray, en dissolvant dans l'acide muriatique un alliage d'osmium et d'étain convenablement préparé. Cristaux très-petits, brillants, blanc bleuâtre. L'osmium fond à la température de fusion du ruthénium ; il se volatilise alors très-sensiblement.

2. *Ruthénium.* Après l'osmium, c'est le métal le plus réfractaire que l'on connaisse. Sa densité est caractéristique ; elle est de 11 à 11,4. Le ruthénium roche comme le platine et le rhodium ; il est dur et cassant comme l'iridium.

3. *Palladium.* Le plus fusible de tous les métaux du platine. A la température de fusion de l'iridium, le palladium disparaît en tournant et en répandant des vapeurs vertes qui se condensent en une poussière d'une couleur bistre, mélange de métal et d'oxyde. Le palladium roche comme l'argent au moment de sa solidification. Le palladium, très-voisin de l'argent, est plus oxydable que lui à basse température. La densité du palladium pur, fondu et non écroui, est de 11,4 à la température de 22°,5.

4. *Rhodium.* Le rhodium fond moins facilement que le platine. Le même feu qui liquéfie 300 grammes de platine ne peut fondre que 40 à 50 grammes de rhodium dans le même temps. Le rhodium n'est pas volatil. Il s'oxyde très-superficiellement comme le palladium et roche de la même manière que lui. Il a à peu près le même ton de couleur que l'aluminium. A l'état d'une grande pureté, il est ductile et malléable. Fondu et pur, il a pour densité 12,1.

5. *Platine.* Après le palladium, le platine est le métal le plus fusible du groupe. Une fois fondu, si l'on élève la température, ce métal se volatilise sensiblement. En se solidifiant, il présente le phénomène du rochage qui, jusqu'à MM. Deville et Debray, n'avait été observé que pour l'argent. Quand on laisse refroidir lentement le platine, il ne roche pas. Le platine fondu et affiné est un métal aussi doux que le cuivre. Il est dépourvu de la porosité du platine ordinaire et peut être employé pour la fabrication du doublé. Le platine fondu possède la propriété de condenser les gaz à sa surface et de produire les phénomènes de la lampe sans flamme. Sa densité est égale à 21,15.

6. *Iridium.* Un lingot d'iridium est d'un blanc pur, ressemblant un peu à l'acier dont il a l'éclat. Il est cassant. Sa densité est la même que celle du platine fondu, c'est-à-dire 21,15.

Les métaux du platine peuvent se diviser en deux catégories distinctes :

Équivalent=53	Densité.	Équivalent=98,5	Densité.
Ruthénium. . . .	11,3	Osmium	21,4
Rhodium.	12,1	Iridium	21,15
Palladium	11,8	Platine.	21,15

Chacun de ces métaux, dans sa catégorie, est rangé, suivant l'ordre inverse de la fusibilité, le métal lourd étant toujours plus réfractaire que le métal léger qui lui correspond, de telle sorte que l'ordre inverse des fusibilités est celui-ci :

Osmium.
Ruthénium.
Iridium.
Rhodium.
Platine.
Palladium.

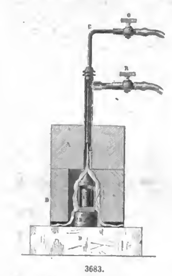
Les métaux du platine font donc une série régulière et complète, dont il ne paraît pas manquer de terme.

Alliages. — MM. Deville et Debray ont obtenu un certain nombre d'alliages cristallisés de ces métaux, qui méritant d'être rapprochés à cause de leur composition et de leur résistance singulière aux acides ; en voici la liste :

L'osmium ne forme aucun alliage à proportions définies.

Rhodium et étain.	Rh. Sn.
Ruthénium et étain	Ru. Sn^3, cubique.
Iridium et étain.	Ir. Sn^3, cubique.
Rhodium et zinc	Rh. Zn^2.
Iridium et zinc	Ir.^{2} Zn^3.
Platine et étain	Pt.^{2} Sn^3, cubique.
Platine et zinc.	Pt.^{2} Zn^3.
Palladium et étain.	Pd.^{2} Zn^3.

Avant de parler de la composition des minerais de platine, nous allons décrire l'appareil à l'aide duquel MM. Deville et Debray ont cherché à opérer la fusion de l'osmium. La figure 3683 représente la disposition de l'expérience. La description du chalumeau et la manière dont on doit diriger l'opération nous ont semblé importantes à connaître.



3683.

Cet appareil se compose d'un chalumeau CC', d'un foyer ABD et d'un creuset I, où on met l'osmium.

Le chalumeau est composé d'un cylindre E en cuivre, de 12 millimètres de diamètre, terminé à sa partie inférieure par un ajutage légèrement conique et de 40 millimètres de longueur, et qui est en platine. Un tube de cuivre C, de 3 à 4 millimètres de diamètre intérieur et terminé par un *bout* de platine C' qui s'y ajuste à vis, pénètre dans le premier cylindre par sa partie supérieure et y est maintenu par une vis de pression P, qui permet, quand elle est desserrée, de donner au bout C' la hauteur que l'on veut par rapport à l'extrémité inférieure.

Un robinet R de *grande section* est appliqué latéralement avec un ajutage très-large aussi ou cylindre E. Un robinet O termine l'extrémité coudée du tube C. C'est par le robinet R que l'on fera arriver, au moyen d'un tube de caoutchouc, l'hydrogène ou le gaz de l'éclairage servant de combustible, c'est par le robinet C que sera introduit l'oxygène destiné à le brûler. Le *bout* C' est percé d'un trou dont le diamètre varie de 2 à 3 millimètres, suivant les dimensions de l'appareil que l'on veut construire.

Le four ABD est composé de trois pièces qui sont toutes les trois en chaux vive bien cuite, légèrement hydraulique et juste assez compacte pour résister au travail du tour. On n'a aucun avantage à se servir de chaux très-dure, sur laquelle l'outil ne mord pas avec une extrême facilité. L'espèce de chaux dont se servent MM. Deville et Debray est très-commune à Paris et provient de la calcination du calcaire grossier du terrain tertiaire de Paris. Un premier cylindre AA est percé d'un trou un peu conique qui laisse pénétrer à frottement, dans l'extrémité inférieure du chalumeau, jusqu'à la moitié environ de son épaisseur, le *bout* CC' n'arrivant lui-même qu'à une distance de 2 à 3 centimètres de l'ouverture inférieure de ce trou. Un second cylindre de chaux BB est percé d'un trou cylindrique beaucoup plus large que le premier, et dont la dimension est telle, qu'il doit laisser entre ses parois et le creuset H une distance de 3 à 4 millimètres au plus. Sa hauteur est ou peu plus grande que la hauteur du creuset. Un troisième cylindre D, sur lequel le second repose, est sillonné sur sa base supérieure par quatre rainures KK, profondes et rectangulaires entre elles, qui donnent passage au gaz de la combustion. Au centre de cette base supérieure et tenant à la substance même du cylindre on ménage un petit support D', sur lequel repose le creuset.

Le creuset lui même est ainsi construit : Une pièce cylindrique HH en chaux, creusée dans la plus grande partie de son épaisseur pour recevoir un creuset I plus petit en charbon de cornue, muni de son couvercle, et dans lequel on introduit la matière à chauffer.

Le creuset de chaux est surmonté d'un cône circulaire, dont le sommet doit être situé verticalement au-dessous du *bout* de platine C', à une distance de 2 à 3 centimètres, variant d'ailleurs avec la rapidité du courant de gaz. Ce cône est ainsi fait afin de forcer la flamme qui vient du chalumeau à se répartir également autour du creuset H, pour sortir ensuite par les ouvertures inférieures.

Toutes les pièces cylindriques A, B, D doivent être fortement cerclées avec des fils de fer très-doux et placés à petite distance les uns des autres, pour maintenir la chaux, qui se fissure toujours un peu pendant le chauffage.

Pour se servir de l'appareil, on ajuste d'abord les creusets (l'osmium ayant été introduit dans le petit creuset de charbon) sur la base D, puis on soulève la pièce A avec le chalumeau, dont on a ouvert le robinet R qui amène le gaz de l'éclairage ou l'hydrogène. On enflamme le gaz en C', puis on donne peu à peu l'oxygène en ouvrant le robinet O, de manière cependant à laisser dominer beaucoup le gaz combustible, puis, *introduisant* la flamme dans l'appareil, on met tout en place comme c'est indiqué dans la figure. Au moyen de la vis de pression horizontale P qu'on desserre, on donne à C' la position convenable, et on l'y maintient indéfiniment en serrant fortement la vis. On augmente alors peu à peu la vitesse du courant d'oxygène et du courant d'hydrogène, jusqu'à ce qu'on ait la température maximum. On en juge directement en regardant par les fissures de l'appareil, puis en se réglant sur le bruit que produit le chalumeau. Ce bruit doit être aussi faible que possible lorsque les volumes de gaz sont en proportion convenable. Quand tout est bien réglé, au bout de huit minutes le creuset est porté jusqu'à son centre, à la température de fusion du rhodium.

COMPOSITION DES MINERAIS DE PLATINE.

Les minerais de platine contiennent les éléments suivants :

1° Sable. C'est le reste d'un lavage qui ne peut jamais être complet. Ce sable contient du quartz, du zircon, du fer chromé, et, dans les minerais russes, beaucoup de fer titané.

2° *Osmiure d'iridium.* — L'osmium s'observe dans tous les minerais de platine, avec les différents aspects que Berzélius a déterminés depuis longtemps dans le platine de Russie et de Colombie : en plaques brillantes, très-rarement munies de facettes cristallines ; en petites pépites munies d'aspérités que l'eau régale

semble avoir cressées quand on les examine dans les résidus; enfin en petites lamelles graphitoïdes qu'on sépare très-bien par le tamis, parce qu'elles sont en même temps de très-petite dimension.

3° Du platine, de l'iridium, du rhodium et du palladium, qui sont sans doute à l'état d'alliage intime, sans qu'on puisse admettre une quantité sensible d'osmium : car la plupart des minerais perdent fort peu d'acide osmique pendant l'attaque à l'eau régale, quoique l'odeur de cette matière se décèle facilement dans les gaz nitreux qui s'échappent du vase où l'on fait l'attaque.

4° Du cuivre, du fer, qui sont à l'état métallique dans le minerai; car le fer, qui se rencontre en outre dans le sable, ne s'y trouve pas à l'état soluble dans les acides.

5° De l'or et, peut-être plus souvent qu'on ne le croit, un peu d'argent. Le chlorure d'argent se dissout très-notablement dans l'eau régale d'attaque et dans le sel ammoniac. Ce ne serait pas dans le résidu insoluble qu'il faudrait le chercher pas plus que dans le platine, mais bien avec le palladium, avec lequel on le précipite toujours à l'état de cyanure d'argent. Il est très-rare de se procurer du palladium bien exempt d'argent et même de cuivre, quand on prépare ce métal par les procédés usités jusqu'ici.

Nous ne pouvons entrer ici dans les détails des procédés analytiques entièrement nouveaux qu'ont suivis MM. Deville et Debray dans l'étude de la composition des minerais de platine. Il importait à ces savants de connaître exactement la composition des minerais qu'ils voulaient soumettre au traitement métallurgique. Nous donnons, sous forme de tableau, les résultats des analyses de quatorze sortes de minerais de platine. Les douze premières appartiennent à MM. H. Deville et Debray, les deux dernières à M. Claus et à M. Bleekerode.

MATIÈRES.	COLOMBIE.			CALIFORNIE.			ORÉGON.	ESPAGNE	AUSTRALIE.		RUSSIE.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Platine. . .	86,20	80,00	76,82	85,50	79,85	76,50	51,45	45,70	59,80	61,40	77,50	76,40
Iridium . .	0,85	1,55	1,18	1,05	1,20	0,85	0,40	0,95	2,20	1,10	1,45	4,30
Rhodium. .	1,40	2,50	1,22	1,00	0,65	1,95	0,65	2,65	1,50	1,85	2,80	0,30
Palladium.	0,50	1,00	1,14	0,60	1,95	1,30	0,15	0,85	1,50	1,80	0,85	1,40
Or.	1,00	1,50	1,22	0,80	0,55	1,20	0,85	3,15	2,40	1,20	(¹)	0,40
Cuivre. . .	0,60	0,65	0,88	1,40	0,75	1,25	2,15	1,05	1,10	1,10	2,15	1,40
Fer	7,80	7,20	7,43	6,75	4,45	6,40	4,30	6,80	4,30	4,55	9,60	11,70
Osmiure d'iridium . .	0,95	1,40	7,98	1,40	4,95	7,55	37,30	2,85	25,00	26,00	2,35	0,50
Sable . . .	0,95	1,35	2,41	2,95	2,60	1,50	3,00	35,95	1,20	1,20	1,00	1,40
Plomb? . .						0,55						
Osmium et perte. . .					0,05	1,25		0,05	0,80		2,30	
	100,25	100,15	100,28	101,15	100,00	100,00	100,25	100,00	100,00	100,20	100,00	100,50

(¹) Or (s'il y en a), compté avec la perte.

MATIÈRES.	GORO-BLAGODAT.	MATIÈRES.	BORNÉO.
	13		14
Platine.	85,97	. . . .	70,21
Iridium.	0,54	. . . .	6,13
Rhodium.	0,96	. . . .	0,50
Palladium.	0,75	. . . .	1,41
Osmium	0,54	. . . .	1,15
Fer.	6,54	. . . .	5,80
Cuivre	0,86	. . . .	0,34
Chaux	0,50	Or	3,97
Portion insoluble dans l'eau régale	1,60	Oxyde de fer	1,13
Perte.	1,30	Oxyde de cuivre	0,50
		Osmiure et sable	8,86
	100,00		100,00

Essais des minerais. — La seule matière absolument dénuée de valeur dans les minerais de platine est le sable; il est donc très-important de connaître la quantité qu'en contient un minerai. Le procédé de dosage du sable indiqué par MM. Deville et H. Debray est très-simple et s'exécute avec rapidité.

1° *Sable.*

Pour doser le sable, on prend 2 grammes de minerai choisi de telle manière qu'il représente la composition moyenne du lot que l'on examine aussi bien que possible, et pesé avec une grande exactitude. On a préparé à l'avance un petit creuset de terre semblable à ceux qui servent à calciner les cornets d'or à la Monnaie, ou bien un petit creuset ordinaire à parois lisses; on y fond un peu de borax, de manière à bien vernir ses parois, et on y met de 7 à 10 grammes d'argent pur et grenaillé, par-dessus le minerai de platine une dizaine de grammes de borax fondu, et enfin un ou deux petits fragments de charbon de bois. On fond l'argent, en ayant soin de le maintenir quelque temps à une température un peu supérieure à son point de fusion, pour que le borax soit bien liquide et puisse dissoudre les matières vitreuses qui accompagnent le platine et qui constituent le sable. On peut

d'ailleurs agiter le borax avec un tuyau de pipe. On laisse refroidir, on détache le culot d'argent qui contient l'osmium et la platine avec toutes les matières métalliques qui l'accompagnent, et au besoin, pour enlever les dernières portions de borax, on le fait digérer avec un peu d'acide fluorique faible. Enfin on le sèche, on le fait rougir faiblement et on le pèse. En retranchant le poids du culot de la somme des poids du minerai et de l'argent employé, on obtient la quantité de sable que contient le minerai.

2° *Or.*

On enlève l'or avec du mercure bouillant en petite quantité, par lequel on traite le minerai pendant quelques heures. On lave avec du mercure chaud et pur, on réunit le mercure qu'on distille dans une petite cornue en verre. Le résidu chauffé en rouge est pesé donne l'or ou presque tout l'or du minerai. On peut également traiter le minerai par de l'eau régale faible, évaporer la liqueur dans un creuset de porcelaine taré, calciner et peser. Le premier procédé donne un minimum, le second un maximum; mais le premier nombre se rapproche plus souvent du chiffre exact de la teneur en or que le second. Cependant ils sont toujours suffisamment exacts. On opère sur 40 grammes : les minerais américains donnent ordinairement de 60 à 110 milligrammes d'or, ce qui fait en moyenne 1 pour 100. Mais par le mercure on en perd toujours une petite quantité dans les lavages et pendant la distillation, si on n'opère avec un grande prudence. C'est cependant ce mode de dosage que recommandent MM. Deville et Debray.

3° *Platine.*

On prend 50 grammes de minerai choisi de telle manière qu'il représente la composition moyenne du lot; on le fait fondre dans un creuset ordinaire avec 75 grammes de plomb pauvre et 50 grammes de galène pure bien cristallisée. On met 10 à 15 grammes de borax, et l'on pousse le feu jusqu'au rouge de la fusion de l'argent; on agite de temps en temps avec un tuyau de pipe, et l'on ne cesse de chauffer que lorsque tous les grains de platine ont disparu dissous dans le plomb et qu'ils cessent de se présenter sous le tuyau de pipe. On ajoute alors une cinquantaine de grammes de litharge, en poussant toujours la température et ne mettant que peu à peu la litharge, au fur et à mesure de sa réduction et jusqu'à ce qu'elle soit en excès, ce dont on s'aperçoit à la nature de la scorie qui attaque le tuyau de pipe et à la cessation du dégagement d'acide sulfureux. On laisse refroidir lentement; on casse le creuset; on détache la scorie, qui doit être plombeuse et chargée de fer, et on nettoie bien le culot, qui doit peser environ 200 grammes. Le fer et le cuivre se sulfurent et passent dans la scorie, et l'osmiure d'iridium, insoluble dans le plomb, mais susceptible d'être mouillé par lui, va au fond et reste dans le culot. En ajoutant de la litharge, on détruit la galène et le sulfure de fer : il se forme du plomb et des oxydes, qui sont absorbés par le borax.

Quand le culot est bien nettoyé, on le pèse, puis on scie la partie inférieure, qui doit faire à peu près le dixième du poids du culot que l'on pèse. On recueille la sciure; on broie la partie supérieure du culot cristallisée et très-cassante; on y ajoute la sciure de plomb platinifère; on mélange bien : on pèse encore. On prend alors de la poudre de plomb platinifère, en quantité telle qu'elle représente le neuvième du poids total du culot, on coupelle cette matière par les procédés que nous allons décrire, et on pèse le platine après l'avoir fondu.

Coupellation du platine.

Pour obtenir la séparation complète du plomb et doser le platine par la voie sèche, on peut employer deux méthodes.

Premier procédé. Coupellation par l'intermédiaire de l'argent. — On ajoute à l'alliage cinq à six fois environ autant d'argent qu'on suppose de platine dans l'alliage. On remet au besoin du plomb; on coupelle et on pèse le bouton. L'excès de poids du bouton sur l'argent ajouté donne le poids du platine.

Ces coupellations se font de préférence dans un fourneau dont les moufles, chauffés par la flamme d'un four à réverbère, peuvent être amenés à une température extrêmement élevée, sans que les parois du moufle soient détruites par les cendres de la houille, ce qui arrive très-promptement quand on veut pousser au delà d'une certaine limite la température dans les fourneaux à coke.

Deuxième procédé. Coupellation simple. — On introduit le plomb platinifère dans des coupelles ordinaires de grande dimension. Dans le moufle bien chauffé d'un fourneau de coupelle ordinaire, on arrive facilement à amener l'alliage à l'état solide, et le platine encore plombifère se montre sous la forme d'une masse étalée en forme de chou-fleur, qui se détache avec assez de facilité du fond de la coupelle, quand on a mouillé celle-ci pendant qu'elle est encore rouge.

Mais il ne faut pas en général détacher cette masse coupellée : pendant qu'elle est rouge, on la soumet à l'action du chalumeau représenté dans la fig. 3683, en ayant soin de donner peu d'hydrogène et beaucoup d'oxygène en excès. De cette manière, on ne chauffe pas la masse d'une manière excessive, mais on la fond partiellement et surtout on l'oxyde avec une grande rapidité.

Quand on a enlevé ainsi la plus grande partie du plomb de l'alliage de platine, on le détache de la coupelle d'os et on le transporte sur une autre coupelle de même forme taillée grossièrement dans un morceau de chaux. On chauffe alors peu à peu la masse, qui fume très-fortement; enfin on fond le platine dans un feu oxydant, on le rassemble en un seul globule en faisant tourner la coupelle, et on la laisse refroidir. Il faut éviter avec soin les projections qui arriveraient au commencement de l'opération si l'on chauffait trop vite et si on brûlait trop rapidement les dernières traces de plomb. On sépare le culot de platine, on le nettoie dans l'acide muriatique bouillant, et on le pèse.

RÉSIDUS DE PLATINE.

Ils sont de deux sortes : 1° les résidus insolubles, 2° les résidus précipités. Les premiers, comme le montre le tableau suivant, contiennent tous les métaux du platine, mais en particulier de l'osmiure d'iridium et du sable en quantité très-variable.

Deux échantillons de résidus précipités ont été analysés par MM. Deville et Debray, et leur ont donné les résultats suivants :

1° Résidu provenant de la Monnaie de Russie :

Palladium	0,8
Platine	0,8
Rhodium	2,4
Rhodium, iridium et osmiure d'iridium	21,8
Métaux communs, etc.	74,2
	100,0

2° Résidu remis par M. Mathey, de Londres :

Osmiure d'iridium	2,2
Palladium	1,2
Platine	0,5
Iridium	23,3
Rhodium	6,4
Métaux communs, etc.	66,4
	100,0

COMPOSITION DE RÉSIDUS INSOLUBLES.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osmiure d'irid.	12,35	34,00	29,15	92,50	96,10	94,20	26,60	83,60	60,10
Palladium . . .	0,48	0,00	0,003	0,02	0,12	0,02	0,70	0,00	0,37
Platine et traces d'iridium. . .	0,53	0,00	0,90	0,78	0,48	0,86	7,00	0,00	2,14
Rhodium. . . .	0,15	0,00	0,13	0,10	0,20	0,88	0,20	0,00	1,36
Sable.	86,79	66,00	69,82	6,60	3,50	4,04	65,50	16,40	36,03 [1]
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

[1] Avec des métaux communs et en particulier de l'argent.

Nous renverrons au mémoire de MM. Deville et Debray (*Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LVI) pour les détails des procédés d'analyse employés par eux. Le défaut d'espace nous oblige aussi à renvoyer au même travail pour l'analyse des osmiures d'iridium, dont nous présenterons seulement ici les résultats numériques.

COMPOSITION DE QUELQUES OSMIURES D'IRIDIUM.

MATIÈRES.	COLOMBIE.		CALIFORNIE	AUSTRALIE	BORNÉO.	RUSSIE.				
	1	2 [1]	3	4	5	6	7	8	9	10
Iridium	70,40	57,80	53,50	58,13	58,27	77,20	43,28	64,50	43,94	70,36
Rhodium.	12,30	0,63	2,60	3,04	2,64	0,50	5,73	7,50	1,65	4,72
Platine.	0,10	»	»	»	0,15	1,40	0,62	2,80	0,14	0,11
Ruthénium.	0,00	6,37	0,50	5,22	»	0,20	8,49	»	4,68	»
Osmium	17,20	35,10	43,40	33,46	38,94	21,00	40,11	22,90	48,85	23,01
Cuivre.	»	0,06	»	0,15	»	traces.	0,78	0,90	0,11	0,21
Fer.	»	0,10	»	»	»	»	0,99	1,40	0,63	1,29
	100,00	100,06	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

[1] Dans cette analyse, l'osmium a été dosé directement.

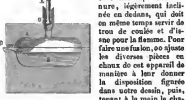
MÉTALLURGIE DU PLATINE.

Nous allons exposer maintenant les procédés de voie sèche par lesquels MM. Deville et Debray sont arrivés : 1° à révivifier par fusion le platine qui a servi ; 2° à préparer du platine pur industriellement ; 3° à préparer un alliage contenant, en outre des métaux qui accompagnent le platine dans son minerai, ceux que renferme l'osmiure d'iridium lui-même ; 4° à préparer un alliage triple de platine, d'iridium et de rhodium présentant des qualités convenables.

RÉVIVIFICATION DU PLATINE.

Pour utiliser de nouveau les débris du platine du commerce, il faut le mettre en lingots, après l'avoir dépouillé de toutes les matières étrangères qu'il contient. Voici la méthode par fusion employée dans ce but par MM. Deville et Debray. Le combustible employé est un mélange de gaz d'éclairage, ou d'hydrogène pur et d'oxygène préparé avec le bioxyde de manganèse d'Allemagne, qui marque 75° et coûte 26 fr. les 100 kilog. Les résidus sont achetés par les verriers à raison de 10 fr. les 100 kil. On se sert du chalumeau représenté dans la figure 3683.

Le four (voyez fig. 3684) où se fait la combustion est en chaux cerclée avec des fils de fer. Il se compose de deux parties : 1° la voûte AA prise dans un morceau de chaux cylindrique, légèrement cintrée à sa partie inférieure et percée en Q d'un trou conique par où pénètre le chalumeau CE ; 2° d'une sole B creusée dans un autre morceau de chaux également cylindrique. On doit lui donner une profondeur telle, que le platine fondu y occupe une épaisseur de 3 à 4 millimètres au plus. A la partie antérieure D, qui doit faire une légère saillie, on pratique avec une râpe une rainure, légèrement inclinée en dedans, qui doit en même temps servir de trou de coulée et d'issue pour la flamme. Pour faire une fusion, on ajuste les diverses pièces en chaux de cet appareil de manière à leur donner la disposition figurée dans notre dessin, puis, tenant à la main le chalumeau, on ouvre le robinet H (fig. 3683) ; on donne un assez faible courant de gaz combustible, et, en tournant le robinet O, l'oxygène nécessaire pour le brûler. On plonge aussi la flamme dans l'appareil par le trou Q (fig. 3684), de manière à éviter une petite explosion qui pourrait projeter la chaux de l'appareil. On chauffe lentement les parois du four en augmentant peu à peu la vitesse des gaz, jusqu'à ce qu'on ait atteint le maximum de tempéra-



3684.

ture. Avec une lame de platine qu'on introduit par le rampant D, et que l'on met sur le jet de gaz, on voit où est fixé le maximum de température, c'est-à-dire le point où la fusion se fait le plus vite; on l'abaisse ou on le relève au besoin en desserrant la vis P (fig. 3683), et abaissant ou élevant l'orifice du bout de platine qui amène l'oxygène. On assujettit la vis et on introduit peu à peu le platine par l'ouverture D. Si ce platine est en lames minces de moins d'un millimètre d'épaisseur, on a à peine le temps de les introduire. On les voit disparaître et fondre presque au moment où elles entrent dans le four. L'oxygène doit arriver avec une certaine pression, de 4 à 5 centimètres de mercure environ, et doit agiter le platine d'un mouvement giratoire, ce qui régularise la température dans toute sa masse.

Quand on ne veut pas couler le platine, la fusion étant complète, l'affinage terminé, ce que l'on voit lorsqu'il ne se forme plus de matière vitreuse à la surface du platine, on diminue peu à peu la vitesse des deux gaz, laissant toujours dominer le gaz réducteur, mais en très-léger excès. Ce gaz détermine une production d'eau ou d'acide carbonique très-rapide aux dépens du gaz combustible et de l'oxygène dissous dans le platine; il se manifeste alors une ébullition très-sensible dans la masse métallique. Peu à peu la solidification s'opère jusqu'au centre, et l'on éteint entièrement le foyer. Il y a toujours projection de platine à la voûte du four; on le recueille après l'opération avec la plus grande facilité.

Quand on veut couler le platine, on prépare une lingotière, soit en fonte épaisse et bien frottée avec de la plombagine, soit en charbon de cornues, ou en chaux. Ces dernières se fabriquent avec la plus grande facilité avec des plaques de la matière, sciées et maintenues par du fil de fer. On enlève la voûte, on saisit le foyer avec des pinces, et on coule le platine sans se presser, comme on le ferait pour un métal ordinaire. La seule difficulté, que l'habitude apprend à surmonter, c'est de pouvoir en même temps distinguer la surface éblouissante du platine et l'ouverture béante de la lingotière, afin de verser à coup sûr.

Les principes sur lesquels MM. Deville et Debray se sont appuyés pour construire leurs appareils sont les suivants :

1° La chaux est peut-être le corps le plus mauvais conducteur que l'on connaisse, si bien qu'à travers une épaisseur de 2 centimètres ou plus, l'appareil étant plein de platine fondu, l'extérieur est à peine à 150 degrés.

2° La chaux est le corps qui rayonne la chaleur et la lumière avec le plus de perfection; c'est à cause de cela qu'on l'a choisi pour obtenir la lumière Drummond. Ce sont donc les meilleures parois que l'on puisse donner à un four à réverbère de cette espèce.

3° La chaux agit sur toutes les impuretés dont on a intérêt à débarrasser le platine, fer, cuivre, silicium, etc., et les transforme en combinaisons fusibles qui pénètrent sa substance si poreuse. Elle agit comme une coupelle dont la matière purifierait le métal qu'on y fond.

Aucun métal étranger, excepté l'iridium et le rhodium, ne peuvent exister dans le platine après qu'il a été fondu et affiné par les procédés que nous avons décrits. Toutes les matières qui attaquent le plus facilement le platine : le soufre, le phosphore, l'arsenic, l'or avec lequel on le soude, le fer, le cuivre, le palladium, l'osmium, s'en séparent soit par l'oxydation et l'absorption par la chaux, soit par la volatilisation. Le platine contenant de l'or, du palladium, laisse échapper ces métaux à l'état de vapeur, et on peut les recueillir avec facilité en faisant entrer la flamme qui sort du four dans un tuyau de terre, où elle dépose toutes les matières étrangères volatiles, sauf l'acide osmique, qui se condense lui-même, si l'on met un vase plein d'ammoniaque dans le trajet des vapeurs. D'ailleurs une partie de l'osmium se dépose dans le tube à l'état métallique, soit qu'il se volatilise dans le courant gazeux de la flamme, soit que l'acide osmique produit dans le foyer se réduise plus loin dans le tube de condensation.

La révivification d'un kilogramme de platine exige au plus 60 litres d'oxygène, ce qui correspond à $0^{f},24^{c}$ par kilogramme.

PRÉPARATION DU PLATINE PUR INDUSTRIELLEMENT.

Nous allons maintenant décrire les procédés de préparation industrielle du platine pur.

Le plomb et les métaux du platine s'allient avec une grande facilité; mais le fer qui est uni au platine soustrait les grains du minerai à l'action du plomb avec une très-grande énergie : cependant la dissolution peut à la longue devenir complète. Le plomb n'exerce aucune action sur l'osmiure d'iridium, et si on fond ensemble du plomb et du minerai de platine, on retrouve tout l'osmiure sans la moindre altération à la partie inférieure du culot de plomb platinifère.

Pour faire la séparation de l'osmiure et du platine, il suffit donc de les fondre avec du plomb, en employant toutefois un artifice pour hâter la dissolution du platine. Pour cela, il faut se servir non pas de plomb, mais de galène ou sulfure de plomb qui est décomposé par le fer, comme on le sait, en produisant du plomb, lequel s'allie au platine. Le plomb a de plus cet avantage, qu'il forme des sous-sulfures ou mattes plombeuses très-riches en métal et très-propres à cette opération.

Traitement en petit.

Dans un creuset on met quelques kilogrammes de minerai de platine qu'on fond avec leur poids de galène et un peu de verre, ou mieux d'un mélange de verre et de borax. On chauffe au rouge vif de la fusion de l'argent, et on agite de temps en temps avec un barreau de fonte jusqu'à ce que tout le minerai ait disparu et qu'on ne sente plus sous la pression du ringard que quelques grains d'osmiure. Dans cette opération, la galène, au contact du fer contenu dans le minerai et du ringard lui-même, fournit le plomb pour dissoudre le platine. On augmente alors la chaleur et on verse sur la matière de la litharge, jusqu'à ce que tout dégagement d'acide sulfureux cesse et jusqu'à ce que la scorie devienne manifestement plombeuse et oxydée. Pour favoriser la réaction entre la litharge et la galène, on agite de temps en temps avec un ringard en fonte. L'opération doit être conduite de telle façon qu'à la fin le plomb soit entièrement privé de soufre; le poids de l'alliage est environ le quadruple du poids du platine employé.

On laisse refroidir lentement le creuset, et lorsque le plomb est entièrement solidifié, on détache le culot; on enlève à la scie le dixième inférieur qui contient l'osmiure d'iridium et qu'on conserve pour l'ajouter à l'opération suivante. On coupelle alors, et en prolongeant la coupellation à haute température et dans un vif courant d'air, on finit par enlever presque tout le plomb, et il ne reste plus qu'à introduire ce platine plombeux dans un four en chaux, à le fondre et à l'affiner par les procédés déjà décrits. Dans les premiers moments de la fusion, il se dégage des fumées de plomb qu'on dirige dans une cheminée d'appel. Pendant l'affinage, l'odeur de l'osmium est à peu près insensible.

Traitement en grand.

On modifie facilement ce procédé pour l'appliquer en grand.

1° *Fusion avec la galène.* — Cette fusion peut s'opé-

rer dans un petit four à réverbère dont la sole en marne ou en brique doit être hémisphérique, de manière à ressembler entièrement à la sole d'un fourneau de coupelle. Pour traiter à la fois 400 kilogrammes de minerai, il suffit que cette sole ait une capacité de 50 litres environ. Dans le cas qui nous occupe, il vaudrait mieux employer pour la sole la forme d'une calotte empruntée à un ellipsoïde de révolution. Un petit four ayant une longueur de sole d'environ 4 mètre, de 4 décimètre ½ environ de profondeur moyenne et une largeur de 50 centimètres, suffirait amplement au traitement de 400 kilogrammes de minerai. En donnant au foyer la même largeur que la sole, c'est-à-dire 50 centimètres sur 35 à 40 centimètres dans l'entre dimension horizontale, on aurait une chaleur suffisante. Mais il faudrait opérer avec une épaisseur de combustible de 30 centimètres au moins pour avoir constamment une flamme réductrice et ne pas précipiter par trop l'oxydation de la galène, et par suite la production du plomb.

Une fois le four chauffé, on jette le mélange de galène et de minerai à poids égaux, on fond en brassant constamment jusqu'à ce qu'on ait produit une matte plombeuse et l'alliage de platine et de plomb. Alors en jetant un peu de verre fusible sur la matière, poussant la chaleur, on introduit peu à peu les 200 kilogrammes de litharge qui sont à peu près nécessaires pour terminer l'opération et chasser le soufre. Lorsque la réaction est terminée, on laisse le bain métallique dans le repos le plus complet pour que l'osmiure se précipite au fond, et après avoir fait couler la scorie plombeuse, on décante le platine plombifère au moyen d'une cuiller de fonte et on le coule dans des lingotières. La partie inférieure du bain contenant l'osmiure d'iridium est ajoutée à la fonte suivante, jusqu'à ce qu'il soit devenu très-riche en osmiure.

La sole du four à réverbère devra être, autant que possible, garnie dans toutes ses parties inférieures et latérales, même du côté de l'autel, au moyen d'une caisse de fonte sur laquelle reposeront les briques, de manière que du plomb platinifère très-fusible ne puisse pénétrer bien profondément entre les briques, et exiger, pour le retrouver, la démolition des pièces du four les plus importantes et les plus solidement reliées entre elles. L'autel devra, pour la même raison, être creux et refroidi par un courant d'air intérieurement.

Coupellation. — Cette opération se fait de la même manière que la coupellation de l'argent et dans les mêmes appareils. Seulement à la fin de l'opération, quoiqu'on pousse le feu, l'alliage très-riche en platine se solidifie, et on peut l'enlever après avoir refroidi brusquement sa surface avec de l'eau. La plus grande partie du plomb peut être brûlée dans un appareil analogue aux fours destinés à la liquation du cuivre argentifère. Seulement ici les pains de platine plombifère, soumis à l'action d'une flamme oxydante et dont la température est très-élevée, laissent transsuder des gouttelettes de litharge et se transforment enfin en un gâteau en forme de chou-fleur qu'on n'a plus qu'à fondre après l'avoir mis en fragments.

Fusion du platine. — La fusion et l'affinage du platine devront se faire dans des fours contenant 45 à 20 kilogrammes de platine. En versant dans le même moule la matière fondue dans trois ou quatre de ces fours, on pourra obtenir des lingots de 60 à 80 kilog., plus pesants par conséquent que les plus grosses pièces que l'on ait jamais eu à faire en platine. D'ailleurs, rien n'empêchera d'augmenter les dimensions de ces fours à fusion, qui, évidemment à cause des principes de leur construction, peuvent recevoir des dimensions illimitées en largeur. Il suffira de déterminer par l'expérience la profondeur qu'on devra donner aux bains de platine et peut-être aussi le nombre des tuyères à oxygène qu'il conviendra d'y placer.

Extraction du platine par simple fusion. — Rien n'est plus simple que de préparer, avec un minerai de platine convenablement choisi, un alliage triple de platine, d'iridium et de rhodium, ayant toutes les qualités du platine, avec l'avantage de présenter un peu plus de roideur et une résistance sensiblement plus grande à l'action des réactifs et de la chaleur.

Il est évident que si on enlève au minerai de platine toutes les matières oxydables ou volatiles qu'il contient, on aura un alliage de platine, d'iridium et de rhodium. L'or, dont on peut priver le minerai avant son traitement, le palladium, sont volatils, et si on les laisse dans la matière avant de la fondre, on les trouvera dans les fumées condensables. L'osmium se volatilisera à l'état d'acide osmique. Le cuivre, le fer s'oxyderont, et si on les met en contact avec la chaux, le dernier formera un ferrite de chaux fusible. La plus grande partie du cuivre passera dans les flammes.

Le tableau qui suit donne la composition des alliages que fournissent ces minerais, quand on en a expulsé les parties oxydables et volatiles qui se rapportent aux minerais les plus importants.

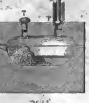
MATIÈRES.	COLOMBIE.			CALIFORNIE.		RUSSIE.	
	1	8	9	4	6	11	12
Platine.	96,40	94,09	90,70	96,80	90,50	93,00	94,00
Iridium.	2,10	2,98	7,90	2,40	7,20	3,70	5,70
Rhodium.	1,50	2,93	1,40	1,10	2,30	3,30	0.30
	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00

Fondant. — Il suffira pour obtenir ces alliages de fondre le minerai dans de la chaux, il se dégagera de l'acide osmique, qu'on pourra recueillir au besoin au moyen d'un tube engagé dans une cheminée à fort tirage et dans lequel on dirigera la flamme contenant l'osmium (un bassin plein d'ammoniaque dont les gaz seront obligés de lécher la surface permettra d'y recueillir l'acide osmique, si on ne préfère le perdre). Mais, pour éviter d'attaquer la chaux du four lui-même, il est bon d'ajouter au minerai un fondant qui s'empare de l'oxyde de fer pour le transformer en une matière fusible, laquelle s'imprégnera dans la chaux du four comme dans une coupelle. Ce fondant sera la chaux elle-même, et il conviendra d'en employer une quantité égale à la proportion de fer qui existe dans le minerai.

En effet, la chaux a le même équivalent que le fer, de sorte que pour obtenir la combinaison Fe^2O^3CaO, spinelle ferrico-calcaire, il suffit de la moitié seulement de la chaux introduite comme fondant; le reste se com-

bine avec la silice, l'alumine, le fer, la zircone et les autres matières contenues dans le sable des minerais.

Appareil. — Après avoir mêlé le minerai avec son fondant, on l'introduira dans le four à réverbère de la fig. 3685, qui est construit d'après les mêmes principes que ceux que nous avons déjà décrits. Seulement on a ménagé un peu en avant du chalumeau EC un trou T muni d'un bouchon en chaux par où on introduira le minerai. On remarquera que le chalumeau EC est placé un peu vers le fond de l'appareil, de manière que le minerai tombe sur un point de la sole où la chaleur est maximum, et qui sera situé un peu en avant du centre de la sole. On introduira le minerai peu à peu de manière à fondre presque tout un lot avant d'en introduire un autre, et on ne s'arrêtera que lorsque la sole sera tout à fait détruite par les scories, ce qui arrive au bout d'un certain temps, variable avec la nature des minerais. On coule le platine fondu et on nettoie le four avec le plus grand soin en mettant les fragments, où l'on suppose quelques grains de platine, en digestion avec l'acide muriatique et lavant à grande eau. La silice gélatineuse qui reste avec les grains très-fins de platine est entraînée par l'eau, et le platine reste. On refond le platine dans un autre four, et on ne peut le considérer comme pur que lorsqu'il ne répand plus l'odeur d'osmium dans la flamme oxydante et qu'il n'attaque plus la chaux. Quelquefois une troisième fusion avec affinage par les procédés déjà décrits pour le platine est une opération indispensable.



3685.

Préparation d'alliages en proportions variées.

La méthode que nous venons d'indiquer nous permettra de produire des alliages ternaires dans des proportions à peu près quelconques, soit en mélangeant convenablement des minerais de compositions diverses, soit en mélangeant à des minerais connus des osmiures d'iridium ou des résidus dont la composition a été déjà donnée. La fusion s'opère de la même manière : elle est cependant un peu plus longue, à cause de la quantité d'osmium plus considérable qu'il faut oxyder et de la fusibilité un peu moindre de l'alliage. Il faut également un affinage plus parfait que pour le platine pur quand on veut avoir des matières en même temps très-riches en iridium et suffisamment malléables.

Un certain nombre de médailles de différents modèles ont été frappées à la Monnaie de Paris, avec des alliages de platine et d'iridium fondus au laboratoire de l'École normale par les procédés de MM. H. Deville et Debray. Elles avaient la composition suivante :

I.		II.		III.	
Platine. .	80	Platine. .	90	Platine. .	95
Iridium. .	20	Iridium. .	10	Iridium. .	5
	100		100		100

Elles ont été laminées à froid et sans recuit avec une extrême facilité, présentant les qualités des métaux les plus ductibles. Elles ont pris sous le balancier un poli aussi parfait que le poli des coins, accusant, par des alliages riches en iridium, une dureté un peu plus grande que celle de l'or à 0,916. Cette dureté est proportionnelle à la quantité d'iridium qui s'y trouve, tout aussi bien que la résistance de l'alliage à l'action de l'eau régale, laquelle devient presque complète à partir du titre de 20 pour °/₀ d'iridium.

Le minerai fondu directement par les mêmes procédés a donné un alliage composé de

Platine.	92,6
Iridium.	7,0
Rhodium.	0,4
	100,0

Cette matière s'est laminée avec une perfection aussi grande que les alliages fabriqués directement ; elle a résisté à une épreuve des plus concluantes, en permettant la fabrication d'une médaille dont le relief dépasse 5 millimètres, ce qui n'avait jamais été fait, même avec le platine pur. La matière, quoique devenue très-dure par un écrouissage très-énergique, s'est relevée avec une grande uniformité, pour fournir à la saillie de la figure la substance métallique provenant des parties latérales. Il arrive souvent que les médailles d'or à 0,916 se brisent sous le coin dans les mêmes circonstances.

Les usages du platine, fort restreints aujourd'hui, tendront à se généraliser quand le prix de ce métal aura diminué notablement. Ce résultat peut être obtenu par l'exploitation régulière et suffisante des gisements connus, soit dans l'Oural, soit dans les pays aurifères. Il sera nécessaire alors d'avoir un mode de traitement plus expéditif et plus pratique que le mode de traitement adopté aujourd'hui.

Nous sommes convaincu que les procédés entièrement nouveaux consignés dans le beau travail de MM. Deville et Debray ne tarderont pas à être appliqués partout à l'exclusion du procédé ancien, dû en grande partie, comme on le sait, à Wollaston. Une grande économie dans la révivification et dans l'extraction du platine et des métaux utilisables qui l'accompagnent en rendront l'usage beaucoup plus répandu ; nous espérons, avec les savants chimistes auxquels sont dues toutes les méthodes que nous venons de décrire, que les savants pourront avoir dans leurs laboratoires des vases en platine de grande dimension qui leur seraient si précieux. Peut-être même le platine pourra-t-il alors entrer dans les usages de la vie partout où sa densité considérable et sa couleur un peu terne ne seront pas un obstacle, partout où son inaltérabilité absolue aura une certaine importance.

L. GRANDEAU.

PLONGEUR (CLOCHE DE) *et appareils pour travailler sous l'eau.* — M. de la Gournerie a publié dans le rapport du jury de l'Exposition de 1855 des renseignements historiques sur les inventions qui se sont fait successivement jour. Nous reproduirons ici une grande partie de cette intéressante étude.

En 1665, un mécanicien dont le nom n'a pas été conservé retira trois canons de l'un des vaisseaux de l'*Armada*, qui était coulé, depuis soixante-dix-sept ans, dans un port de l'île de Mull, voisine des côtes occidentales de l'Écosse. Il se servit d'un appareil à plonger composé d'un escabeau sur lequel il se tenait debout, et d'une cloche qui couvrait la partie supérieure de son corps.

Saint-Clair fit connaître ce travail avec quelques détails (*Georgii Sinclari Ars nova et magna gravitatis et levitatis*; Roterodami, 1669, lib. II, dial. v). Son récit fit une grande sensation. Sturm présenta la cloche à plonger comme une des plus grandes découvertes du dix-septième siècle ; il en composa un dessin d'après la description de Saint-Clair (*Collegium experimentale*; Nurimbergæ, 1676).

Cependant Sturm, ayant étudié la question avec plus de soin, reconnut que l'on s'était déjà servi de cloches pour plonger; il la prouva par des textes de Bacon, de Taisnier et d'Aristote. (*Tentum, Collegii curiosi quæd. Append.*).

François Bacon avait en effet parlé, en 1620, de cuves en métal que l'on descendait renversées au fond de l'eau. Elles étaient soutenues par trois pieds d'une longueur un peu moindre que la hauteur d'un homme. Les plongeurs, au lieu de remonter à chaque instant à la surface de l'eau, allaient y reprendre haleine, et recommençaient leurs opérations. (*Nov. Organ.*, lib. II, aphor. L.)

Taisnier dit avoir vu, en 1538, deux Grecs plonger à Tolède, dans les eaux rapides du Tage, en présence de Charles-Quint et de près de dix mille spectateurs, sans se mouiller et sans éteindre un feu qu'ils portaient. Ils s'étaient servis d'un vaste chaudron (*cacabus*) renversé, suspendu à des cordes, et portant un plancher dans son intérieur. (*Opusc. perpetuo memoria dignissimum ...de Motu celerrimo*; Coloniæ, 1562.)

Enfin, du temps d'Aristote, on employait des cloches pour porter de l'air aux hommes qui travaillaient sous l'eau à la récolte des éponges.

Le *Journal des Savants* reproduisit le dessin de Sturm et résuma sa dissertation (numéro du 31 janvier 1678). Dès que son article eut paru, Pautbot, médecin à Lyon, écrivit au rédacteur qu'il avait vu une cloche fonctionner avec succès dans le port de Cadaques, en Catalogne, pour retirer des piastres de navires coulés. Elle était de bois avec cercles de fer; de gros boulets suspendus à son bord formaient le lest nécessaire à l'immersion. Deux Maures s'en servaient alternativement. Un dessin accompagne la lettre de Panthot, que l'on trouva dans le numéro du journal du 4 avril 1678.

Presque tous les savants qui se sont occupés de philosophie naturelle à la fin du dix-septième siècle et au commencement du dix-huitième ont parlé de la cloche à plonger; plusieurs la représentent comme un appareil assez fréquemment employé, mais on ne trouve aucun fait nouveau dans leurs livres; il faut toujours revenir aux Grecs de Tolède, aux Maures de Cadaques et au mécanicien de l'île de Mull. Robert Boyle dit cependant que deux personnes s'étaient servi de cloches pour des explorations, l'une sur les côtes de l'Afrique, l'autre dans les régions du Nord. (*Relations about the bottom of the sea*, section II.)

L'air n'était pas renouvelé dans ces appareils, et, par suite, il fallait les remonter souvent. Halley proposa de les alimenter par des seaux renversés dont on aurait composé des norias à air. Il indiqua, pour permettre au plongeur de travailler hors de la cloche, une espèce de scaphandre communiquant avec elle par un tube flexible. (*Phil. Trans.*, vol. XXIX, p. 492, et vol. XXXI, p. 177.) Nous ne nous arrêterons pas aux dispositions proposées par Halley, parce que nous croyons qu'elles ont été peu employées.

En 1788, Smeaton employa à Ramsgate une cloche en fonte pour enlever des pierres couvertes de 9 à 10 pieds (de 2m,74 à 3m,04) d'eau. Elle avait 4 pieds 6 pouces (1m,37) de longueur et de hauteur, et 3 pieds (91 cent.) de largeur. Son poids était suffisant pour déterminer l'immersion. Une pompe placée dans un bateau lui envoyait un courant d'air. C'est la première fois que nous trouvons cette disposition, qui a été si fréquemment employée depuis cette époque.

Rennie se servit d'une cloche analogue à celle de Smeaton pour la fondation des quais de Sheerness à 7 et 8 mètres sous l'eau, et de la jetée de Howth à 30 pieds.

La manœuvre a été perfectionnée, mais les cloches elles-mêmes n'ont reçu, depuis Smeaton, que peu de modifications. On a continué de les faire en fonte; cependant celles de bois n'ont jamais été abandonnées entièrement. M. Rendel en a employé une de ce genre, il y a quelques années, pour les fondations du pont de Lary, près Plymouth.

Les cloches ont rendu de grands services pour les travaux; mais elles ne peuvent contenir qu'un petit nombre d'ouvriers, quatre au plus, et leur manœuvre, toujours difficile, devient dangereuse quand le courant est un peu rapide.

Bateau à air. — Dès 1778, Coulomb avait proposé, pour les petites profondeurs, un bateau dont la partie centrale eût été disposée en forme de cloche : on l'aurait échoué sur le lieu du travail. Un *bateau à air* (c'est ainsi que Coulomb a nommé cet appareil) a été construit en 1845 pour des déblais de rocher dans la passe d'entrée du port du Croisic; il portait une machine à vapeur, et des pompes pour la compression de l'air.

On obtenait le lest nécessaire pour déterminer l'échouage et résister à la sous-pression, en laissant l'eau entrer dans une caisse qui formait la partie inférieure du bateau autour de la cloche. Pour la mise à flot, on refoulait la plus grande partie de l'eau en faisant agir sur elle l'air comprimé : la machine à vapeur achevait l'épuisement. On échouait le bateau au jusant, on le relevait au flot; les manœuvres étaient faites très-rapidement. Cet appareil a donné de bons résultats pour des travaux à 2m,25 sous l'eau dans un courant très-rapide. Dans les années 1848 et 1849, M. Cavé a fait, pour le Nil et pour la Seine, des bateaux à air qui restent à flot pendant le travail. Un tube télescopique prolonge la cloche jusqu'à une profondeur de 4m,75; il est relié à elle par une nappe en cuir qui se déroule suivant son abaissement et arrête le passage de l'air. La sous-pression est détruite par une simple diminution du déplacement. Une chambre intermédiaire, qui fonctionne comme un sas, permet de communiquer avec la cloche sans interrompre le travail : cette disposition avait été indiquée par Coulomb et a été réalisée par M. Triger dans ses travaux remarquables.

Les bateaux à air sont de bons appareils pour les petites profondeurs; ils permettent de descendre sous l'eau un atelier un peu nombreux : la chambre de travail des bateaux du Nil a une section de 40 mètres carrés. Dans les rivières, il paraît préférable de les tenir à flot; mais, à la mer, il est bon de les échouer pour les assujettir fortement contre les courants des marées et l'agitation de l'eau.

Nous empruntons la description du bateau de M. Cavé à M. Mongel qui l'a fait construire pour les grands travaux du barrage du Nil.

L'appareil se compose :

1° D'un bateau en tôle de 5 millimètres d'épaisseur, ayant 33 mètres de longueur sur 10m,30 de largeur.

Il a dans son milieu une ouverture de 8 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur, un peu arrondie dans les angles. Cette ouverture, servant de fourreau à la cloche, est revêtue de montants en bois très-rapprochés, qui sont comme des guides, pour empêcher la cloche de se déverser dans le sens du courant du fleuve.

2° D'une grande chambre en tôle de 15 mètres de longueur et 5m,40 de hauteur, dite *chambre à air*, et d'une antichambre, également en tôle, qu'on peut appeler *écluse à air*, car elle sert à passer de la pression extérieure à la pression intérieure, au moyen de deux robinets communiquant l'un avec l'intérieur et l'autre avec l'extérieur. La chambre à air est consolidée par des montants en bois, des tirants et des boulons en fer; elle a une galerie supérieure sur laquelle sont fixés deux forts treuils pour monter ou descendre la cloche, qui n'est autre chose qu'une caisse en tôle de 5 millimètres, ouverte par le bas et par le haut.

Vis-à-vis de ces deux treuils il y en a deux autres plus petits pour mouvoir des matériaux.

L'intérieur de la chambre à air est éclairé par une série de lentilles placées tant sur le toit que contre les parois verticales.

Pour empêcher les fuites d'air entre la cloche et son fourreau, une chemise en cuir gras est fixée d'une part au fourreau et de l'autre à la cloche.

3° D'une machine à vapeur de la force de dix chevaux, donnant le mouvement à une pompe à air aspirante et foulante qui communique par un tuyau avec la chambre. Il y a également deux pompes à eau aspirantes et foulantes, dont on fixe les tiges au balancier quand on veut employer le bateau aux épuisements.

Il y a, en outre, deux cadres indicateurs qui, dans leur mouvement rotatif, agitent une sonnette; ils sont destinés à communiquer, l'un avec le machiniste, l'autre avec le chef de manœuvre. Enfin, quand on veut cesser le travail, il y a un disque circulaire qui s'ouvre au moyen d'un levier et laisse échapper l'air comprimé.

On n'a pu dépasser, avec ce bateau, une profondeur de 4m,75; au delà, les parois de ce bateau commencent à fléchir, et par l'effet de la pression il se faisait de telles pertes d'air par les ceintures des boulons et des cornières qu'on ne gagnait plus rien. Pour lui donner une résistance suffisante à l'action de l'air comprimé, il a fallu lui donner un fort lest, ce qui a été fait en plaçant 280 tonneaux de gueuses, de manière à lui faire caler 1m,10 d'eau.

Quant aux avantages de ce système pour les travaux en lit de rivière, ils sont évidents :

On peut faire travailler à la fois 40 ouvriers à l'aise à de petites profondeurs, et par suite exécuter rapidement des travaux considérables. Le bateau forme bâtardeau pour fonder facilement des piles de pont, dans des cas où la nature sablonneuse du sol rendrait très-difficile ou même impossible l'exécution de bâtardeaux à demeure, toujours plus coûteux.

Nautilus. — L'emploi de l'air comprimé, non-seulement pour empêcher l'eau de pénétrer dans un espace, mais encore comme moyen d'immersion ou d'émersion, comme force motrice communiquée à distance, a été fait fort heureusement pour améliorer la cloche à plongeur par des inventeurs américains, MM. Hallett et Williamson. Leur appareil, auquel ils ont donné le nom de *nautilus*, paraît susceptible d'applications précieuses pour les constructions hydrauliques à de grandes profondeurs.

Cet appareil est représenté en élévation fig. 3686, et en coupe fig. 3687.

Le nautilus se compose essentiellement d'une capacité plus ou moins grande, dans laquelle se placent les ouvriers, entourée d'autres capacités plus petites dans lesquelles on peut, à volonté, faire pénétrer de l'eau ou de l'air. On comprend dès lors que cet appareil peut flotter à la surface de l'eau ou descendre à la profondeur nécessaire, selon que ce volume d'air est plus ou moins considérable.

Un tuyau flexible solidement construit met l'appareil en communication avec un vaste réservoir d'air comprimé, placé à bord d'un ponton ordinaire. Une machine à vapeur de six chevaux, installée sur le même ponton, met en jeu la pompe foulante qui alimente ce réservoir d'air comprimé.

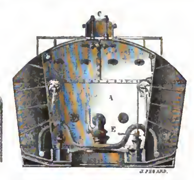
Le mouvement de la machine est extrêmement simple. Un grand trou d'homme placé à sa partie supérieure permet d'y pénétrer facilement, comme dans la cale d'un navire ordinaire, lorsqu'elle flotte à la surface de l'eau. On ferme cette ouverture aussitôt que les hommes, les matériaux et les outils sont entrés dans la machine. A l'aide de robinets dont la disposition est facile à concevoir, le conducteur du nautilus, placé à l'intérieur, fait aussitôt pénétrer assez d'eau dans les chambres à air pour que la machine s'immerge. La marche du manomètre lui indique à chaque instant la profondeur à laquelle il se trouve, et lui permet de régler la vitesse de la descente en augmentant ou en diminuant le volume d'eau des chambres à air.

Lorsque l'appareil est arrivé au fond de l'eau, on fait pénétrer, dans la chambre de travail, de l'air à une pression précisément égale à celle qui répond à la profondeur à laquelle on se trouve, ce qu'un second manomètre permet facilement de reconnaître. On peut alors, sans craindre de voir l'eau pénétrer dans la cloche, enlever la partie mobile du plancher qui forme le fond de l'appareil, et travailler sur le sol comme on le ferait à la surface de la terre.

Le nautilus n'est point suspendu à son ponton, comme les cloches à plongeur ordinaires; il ne communique avec lui que par le tuyau flexible, tenu toujours très-long, pour laisser à la cloche toute liberté de mouvement. La rupture de ce tuyau flexible ne compromettrait en rien, d'ailleurs, la sûreté des tra-



3686.



3687.

vailleurs. En enlevant avec une petite pompe à main une partie de l'eau formant lest, l'appareil reviendrait de lui-même flotter à la surface.

Le nautilus est retenu par trois ou quatre cordes fixées à de petites ancres, ou à d'autres points fixes. Ces cordes traversent des boîtes à étoupes d'une forme spéciale et viennent s'enrouler sur des petits treuils placés dans la chambre de travail, de sorte que les ouvriers peuvent eux-mêmes se transporter dans toutes les directions nécessaires.

Une des propriétés les plus utiles du nautilus est la possibilité de l'employer comme *grue* pour transporter des fardeaux au fond de l'eau. Cette manœuvre est extrêmement facile; on attache l'objet à une forte chaîne réunie à l'appareil; puis on fait sortir des chambres à air un volume d'eau suffisant pour faire flotter l'ensemble du système.

Quand il suffit de soulever la cloche de quelques centimètres, les ouvriers marchent sur le sol et poussent facilement l'appareil dans la direction voulue. Si l'on se maintenait à une certaine hauteur au-dessus du fond, on se halerait de l'intérieur de la chambre de travail à l'aide des cordes d'amarre. La machine actuelle peut soulever ainsi un poids de 6 tonnes 1/2, mais rien ne serait plus simple que de lui donner plus de puissance. A l'aide de cette machine, on peut donc exécuter à toute profondeur sous l'eau les travaux d'appareillage de maçonnerie les plus délicats. Rien ne serait plus facile, par exemple, que de faire des jetées à la mer, en blocs artificiels jointifs, maçonnés et rejointoyés entre eux, qui exigeraient un cube bien moins fort que nos jetées à blocs perdus, et seraient beaucoup moins altérables qu'eux par l'action de l'eau salée.

Un grand nombre de dispositions très-ingénieuses sont réunies dans le même appareil pour lui permettre d'exécuter les différents travaux que réclame l'art de l'ingénieur. Nous n'en citerons ici qu'une seule. C'est une petite machine à piston et à cylindre, fonctionnant à l'intérieur de la chambre de travail par l'air comprimé. Ce moteur peut être employé à tous les travaux de force à exécuter sous l'eau, et, en particulier, à forer les trous de mines qu'elle creuse avec une grande facilité. Le moteur du ponton, sans autre transmission de mouvement qu'un tuyau flexible, envoie ainsi, presque sans perte, une partie de sa force au fond de l'eau, comme on le ferait à terre avec la courroie d'une locomobile.

Scaphandres. — Les cloches et les bateaux à air ont le grave inconvénient de ne pouvoir servir que quand les ouvriers doivent travailler sous leurs pieds.

Les scaphandres ont résolu le problème pour tous les genres de travaux.

Ces appareils sont fort anciens, dit M. La Gournerie, que nous allons encore citer. Dans un de ses célèbres manuscrits écrits à rebours, celui qui est coté B, Léonard de Vinci représente un scaphandre plongeur fait pour envelopper la tête et une petite partie de la poitrine, semblable, dit-il, à un appareil usité dans l'Inde pour la pêche des perles. Un tube flexible fait communiquer l'air extérieur avec l'atmosphère; son extrémité est soutenue au-dessus de l'eau par un flotteur.

Cet appareil ne peut servir que pour de très-petites profondeurs, car le plongeur y respire de l'air à la pression atmosphérique. Coriolis pensait que la différence de pression entre l'air extérieur et celui de la poitrine ne peut guère dépasser celle qui correspond à une colonne d'eau de 0m,60.

Dans le croquis de Léonard de Vinci, le flotteur est représenté à une hauteur de quatre hauteurs de tête environ au-dessus de la bouche. Venturi parle de cet appareil, mais le dessin qu'il en donne diffère beaucoup de l'original.

On trouve dans le recueil de Gerli deux dessins de scaphandres plongeurs, extraits de celui des cahiers de Léonard de Vinci qui est coté N, et qui appartient à la bibliothèque Ambrosienne. Le premier de ces appareils se compose d'un tube flexible ayant l'une de ses extrémités soutenue hors de l'eau par un flotteur, tandis que l'autre s'élargit et enveloppe la bouche du plongeur. Pour se servir de cet appareil, il faudrait faire les inspirations par la bouche et les expirations dans l'eau par le nez; on aurait alors de l'air toujours pur, avantage que ne donne pas le scaphandre indien.

Le second appareil consiste en une outre (probablement cerclée) disposée comme ces larges cravates que l'on appelle cache-nez. La bouche s'ouvre dans son intérieur. Un aussi petit réservoir d'air ne peut être d'aucune utilité, car un homme exhale par minute près d'un quart de litre d'acide carbonique.

Saint-Clair dit, en parlant du plongeur de l'île de Mull, qu'un tuyau en cuir ne lui amenait pas, à travers l'eau, l'air nécessaire à sa respiration, mais qu'il en entraînait, à chaque descente, une quantité suffisante pour une heure presque entière. Ce passage pourrait faire supposer que Saint-Clair connaissait le scaphandre de la mer des Indes.

Du temps d'Halley, on se servait quelquefois pour plonger d'un vêtement imperméable, composé, en partie, d'une armure, dont les joints étaient rendus étanches par du cuir. Deux tuyaux établissaient la communication avec l'atmosphère, et remplissaient, pour l'air, le rôle d'artère et de veine; on établissait le courant par des soufflets placés à l'extrémité de l'un d'eux. Cet appareil était trouvé convenable pour les petites profondeurs jusqu'à 12 et 16 pieds (3m,66 et 4m,88); mais au delà, la pression de l'eau arrêtait la circulation du sang dans les membres.

On voit que l'on était arrêté, pour les scaphandres, par la difficulté de donner à l'air inspiré une pression assez grande; tandis que, dans les cloches, comme le remarque Saint-Clair, l'équilibre s'établit spontanément entre les pressions qui agissent à l'intérieur et à l'extérieur.

Lorsque Smeaton eut employé des pompes pour refouler de l'air dans des cloches, l'idée aurait dû venir naturellement de s'en servir pour les scaphandres; cependant, on a pensé d'abord à un réservoir d'air comprimé (*Mechanic's Magazine*; 25 june 1825). Les scaphandres avec courant d'air continu paraissent avoir été employés pour la première fois en Amérique, d'où ils ont été introduits en Angleterre vers 1830. Ce n'étaient alors que de simples casques. MM. Dean et Siebe ajoutèrent, en 1837, un vêtement imperméable analogue à celui dont parle Halley. Les scaphandres ont pris alors une grande importance. Maintenant la quantité d'air qui enveloppe le corps du plongeur est assez grande pour que sa vie ne coure aucun danger, si le jeu des pompes est interrompu pendant quelques instants, et tout son corps est à la même température; de graves accidents arrivaient quand la tête était entourée d'un air échauffé par la compression, et qu'une grande partie du corps était dans une eau plus ou moins froide.

Des perfectionnements ont été apportés aux oculaires, aux soupapes, à la composition du vêtement et aux pompes.

Ces appareils sont d'une manœuvre assez facile pour qu'on les regarde comme donnant à l'ingénieur un nouveau procédé de fondation. On s'en est servi avec succès au nouveau môle d'Aurigny, pour commencer les maçonneries sous l'eau.

Dans les travaux du pont de Tarascon, les plongeurs

travaillaient par relais de cinq heures. Deux d'entre eux étaient alimentés d'air par la même pompe, et faisaient la moitié du travail que l'on eût obtenu de l'un d'eux hors de l'eau.

Le scaphandre se compose :

1° D'une pompe à air contenue dans une caisse de $0^{m},60$ à 0,80 de côté, dont le poids est de 125 kilog. environ ;

2° D'une autre caisse contenant des souliers plombés, des plaques de plomb et des vêtements de laine ;

3° D'un vêtement imperméable en caoutchouc d'une seule pièce, qui part du milieu du dos et couvre tout le corps en formant un pantalon à pieds ;

4° D'une épaulière en métal, dont le collet circulaire porte un pas de vis, et la partie inférieure un système de bandelettes en cuivre qui sert à fixer le haut du vêtement imperméable ;

5° D'un casque en métal, de forme ovoïde, dont la hauteur est de $0^{m},35$ et la largeur $0^{m},27$. La partie inférieure du casque, à la hauteur du col, est ouverte circulairement, et porte un écrou en métal qui s'adapte au pas de vis de l'épaulière et permet la réunion complète du casque au vêtement imperméable. La face du casque est munie à hauteur des yeux de deux carreaux fixes en verre fort épais de $0^{m},13$ de diamètre ; à la hauteur de la bouche existe aussi un carreau mobile de même diamètre, qui est placé dans un châssis en métal formant le pas d'une vis dont l'ouverture du casque forme l'écrou ; ou bien un simple robinet, ce qui permet au plongeur de respirer librement sitôt sa sortie de l'eau. Ces carreaux sont préservés des chocs par de petites grilles en métal.

Le conduit d'aspiration d'air pur et celui de décharge de l'air vicié sont fermés à l'intérieur du casque par de petits canaux placés autour des carreaux : l'air pur arrive par le dessus ; le casque est muni à cet effet d'un pas de vis qui reçoit l'écrou d'un tuyau en caoutchouc de $0^{m},035$ de diamètre, au moyen duquel la pompe envoie l'air pur ; l'air vicié sort par une petite soupape dont la fermeture s'opère sans permettre à l'eau de rentrer.

Dans les scaphandres de M. Heinke, la soupape de sortie de l'air est entourée d'un étui qui l'ouvre ou la ferme hermétiquement à la volonté du plongeur. Le vêtement, quand la soupape est fermée, se gonfle de tout l'air qui arrive, et bientôt le plongeur, rendu ainsi plus léger que l'eau, monte à la surface. S'il est en danger au fond, si ses signaux sont mal compris, il dépend toujours de lui de reparaître à la surface. Il a encore la possibilité de descendre dans l'eau aussi lentement qu'il le désire, tandis qu'avec les autres appareils, entraîné par les poids énormes à l'aide desquels on assure une immersion durable, il est maintenu au fond jusqu'à ce qu'on le soulage à l'aide de la corde attachée autour de son corps.

Nous avons vu que pendant plus de deux siècles les scaphandres n'avaient pu être utilement employés, parce qu'on ne savait pas donner une tension assez grande à l'air intérieur. Maintenant que cette difficulté est vaincue, quelques personnes cherchent à faire respirer aux plongeurs de l'air suffisamment renouvelé, mais maintenu à la pression atmosphérique, et des brevets d'invention ont été pris pour des dispositions que l'on dit propres à atteindre ce but. Il n'est donc pas hors de propos de rappeler les travaux qui ont été faits sur les corps immergés.

Comment se fait-il qu'un homme qui plonge à de grandes profondeurs ne soit pas écrasé par la pression ? Cette question, moins simple qu'il ne semble au premier abord, a été examinée au dix-septième siècle. Stévin s'en occupe dans son *Art pondéraire* ; Descartes dans une lettre au P. Mersenne, et ce père dans ses *Phénomènes hydrauliques*. Pascal l'étudie dans le *Traité de l'équilibre des liqueurs*. Il propose de jeter une mouche dans de l'eau tiède que l'on comprimerait fortement : l'insecte ne devrait éprouver aucune lésion. Boyle, ayant tenté l'expérience sur des têtards, les vit se mouvoir librement dans de l'eau, sous des pressions correspondantes à des profondeurs de 200 et de 300 pieds ($60^{m},96$ et $91^{m},44$) ; leur volume paraissait seulement un peu diminué. (*Hydrost. Parad.*, Appen. II.)

Ces expériences et ces études montrèrent qu'un plongeur ne recevait aucune lésion, parce que les charges se faisaient équilibre sur son corps ; mais il faut pour cela que l'air contenu dans les cavités intérieures puisse être amené, par la diminution du volume, à une pression égale à celle du milieu. Il est facile de reconnaître que les organes se prêtent parfaitement au resserrement nécessaire, pour les profondeurs auxquelles il est constaté que des hommes sont parvenus sans appareil.

On ne peut estimer à moins de 132 pouces cubes (2163 cent. cub.) le volume d'air que contient la poitrine d'un homme lorsqu'il se lance à l'eau après une inspiration (Voir la *Physiologie de Muller*, traduction de M. Jourdan, vol. I, p. 217.) La contractilité des organes est telle que ce volume peut être réduit, sans lésion et sans douleur, à 35 pouces cubes (573 centimètres cubes), ou environ au quart. La pression de l'air inspiré peut donc être portée à quatre atmosphères par la compression, et la chaleur des poumons vient encore l'augmenter.

Nous n'avons eu égard qu'au volume de la cage thoracique, mais celui des cavités contiguës (trachée, larynx, etc.) peut aussi être diminué, surtout si le plongeur admet une certaine quantité d'eau dans sa bouche. On voit donc que lorsqu'un homme plonge sans appareil, la pression de l'air contenu dans sa poitrine peut faire parfaitement équilibre à celle de l'eau, jusqu'à 30 mètres et plus au-dessous de sa surface.

Le fait bien constaté que des hommes peuvent descendre à de grandes profondeurs en eau libre ne prouve donc pas que la pression dans la poitrine puisse être très-inférieure à celle du milieu. On dit que certains appareils permettent aux plongeurs de respirer impunément de l'air à la tension atmosphérique, sous 30 mètres d'eau. Nous supposons qu'il y a quelque malentendu. Si le fait est certain, il faudra chercher comment, dans le corps d'un homme, les parois des cavités peuvent supporter des pressions de trois atmosphères, et quelle force permet aux membranes délicates des capillaires des cellules du poumon de résister dans le conflit de l'air à la pression atmosphérique et du sang, qui, circulant dans des organes comprimés, doit être à une tension élevée.

Bateaux plongeurs. — Bacon parle de ces appareils. Boyle raconte les merveilleux essais de navigation sous-marine de Cornelius Drebell, qui plongeait dans la Tamise avec un bateau contenant douze rameurs et des passagers. Quand leur respiration commençait à altérer l'air confiné, Drebell le révivifiait par les émanations d'une liqueur dont il n'a révélé à personne la composition. (*New Experiments physico-mechanical.*)

Le P. Mersenne a proposé pour naviguer sous l'eau un appareil qui n'a jamais été exécuté (*Ars navigandi super et sub aquis*). Le P. Schott nous apprend que de son temps on disait d'un projet étudié avec quelque science, mais qui cependant n'aurait pu être réalisé, que c'était le bateau de Mersenne. (*Technica curiosa.*)

M. Payerne a obtenu à l'Exposition de 1849 une médaille d'argent pour un bateau plongeur.

Le premier bateau que construisit M. Payerne, et qu'il appelle bateau-plongeur ou bateau sous-marin, avait 9 mètres de long et 4 mètres de large ; il était construit en fer chaudronné à rivets, ayant supporté par voie d'écartement une pression de plus de 8 atmosphères ; sa forme était ovoïde ; la partie supérieure portait le trou d'homme pouvant se fermer hermétiquement avec des vis, et des verres lenticulaires très-épais destinés à donner de la lumière. Il déplaçait 37 mètres cubes d'eau, soit 37,000 kilog., et il pouvait descendre à une grande profondeur ; mais ayant éprouvé quelques avaries, il ne fut pas jugé prudent de dépasser habituellement celle de 8 mètres.

En 1847, il fut employé avec succès à l'extraction d'une roche dure, de 58 mètres cubes, qui se trouvait dans le port de Brest, en avant de la cale où était alors en construction le vaisseau de premier rang *le Valmy* ; il fallut pour ce travail descendre jusqu'à 12 mètres de profondeur.

En 1819, le même bateau-plongeur fut occupé dans la Seine à l'enlèvement de l'ancien Pont-au-Double. Enfin, en 1852, il fut envoyé à Cherbourg, pour travailler à l'approfondissement de port Chantereine.

En 1853, ce même bateau, qui ne pouvait contenir que quatre travailleurs, fut coupé en deux pour être agrandi par l'intercalation d'une chambre de travail pouvant renfermer douze hommes. Il eut alors 15 mètres de long, et c'est ainsi qu'il enlève à Cherbourg, où il fonctionne, avec des contre-maîtres et des ouvriers peu dressés à ce genre de travail, 1 mètre cube de roche granitique par jour.

Avant l'immersion, on comprime de l'air dans les compartiments extrêmes, et les plongeurs s'enferment dans la chambre du milieu. Cela fait, on foule de l'eau dans les compartiments extrêmes, dont l'air se rend dans la chambre intermédiaire supérieure, et, par suite de l'augmentation de poids due à cette eau, l'appareil s'immerge progressivement. Arrivé sur le fond, on ouvre la porte de la cloison horizontale, l'air comprimé refoule l'eau de la chambre inférieure, et les ouvriers y descendent pour travailler. On maintient l'air de l'appareil à l'état respirable en le faisant passer, à l'aide d'un fort soufflet, dans une dissolution alcaline. La tuyère de ce soufflet est munie d'une pomme d'arrosoir, laquelle, divisant l'air en petits filets, le met en contact intime avec la dissolution. C'est le seul système avec lequel on puisse rester plusieurs heures, sans communication avec l'air extérieur, et cela sans inconvénient.

M. le docteur Payerne voulait aller plus loin ; il prétendait construire un nouveau bateau plongeur à hélice, mû par la vapeur.

Dans le foyer, hermétiquement clos, il proposait de faire brûler le combustible dont il voulait faire usage, en le mêlant avec un corps oxygéné, tel que l'azotate de soude ou de potasse, pour suppléer à la suppression complète du courant d'air. Un entonnoir, garni d'un robinet à dé, transmet au foyer les boules du combustible dosé d'azotate, sans donner issue à la flamme. Les gaz de combustion s'échappent en soulevant par leur propre tension la soupape, qui se referme aussitôt par la pesanteur de la colonne atmosphérique. La vapeur d'eau engendrée dans une chaudière tubulaire ainsi chauffée se trouve donc dans les conditions usuelles. Ce système soulèverait bien des difficultés dans la pratique, mais qui ne paraissent pas absolument insurmontables.

Pour le seul cas des constructions où son bateau ait été employé, l'expérience semble avoir amené M. Payerne à reconnaître les avantages d'une forme pyramidale ; il se rapproche ainsi beaucoup du nautilus dont nous avons parlé plus haut, et qui doit une grande partie de ses avantages à l'emploi de l'air comprimé, que les curieuses expériences de M. Payerne avaient déjà amplement constatés.

POLISSAGE DU MARBRE ET DES GLACES. Le dressage des pierres pour les grandes constructions monumentales des Romains, dit M. Poncelet, dans sa belle *Étude sur l'histoire des machines modernes*, publiée à l'occasion de l'Exposition universelle de Londres, s'opérait probablement, comme aujourd'hui chez certains de nos marbriers et fabricants de miroirs, en faisant osciller, mouvoir en tous sens, rectilignement et circulairement, avec interposition d'eau et de sable ou de poudre usante quelconque, à divers degrés de finesse, une pierre, une dalle de même nature, mais de moindre échantillon, nommée *moellon*, à la surface supérieure horizontale de la pièce principale, mise en place ou calée, scellée au besoin avec du plâtre, sur une table, une plate-forme d'appui solide, dont la surface doit être elle-même parfaitement dressée, quand on la destine à recevoir une ou plusieurs dalles minces et jointives, telles que des glaces de miroir, par exemple.

Dans la marbrerie ordinaire, comme on sait, mais surtout quand le sciage mécanique ou à bras a été bien exécuté, on se contente aujourd'hui encore de dresser, doucir ainsi, sans beaucoup de frais, la surface supérieure des pierres par le frottage d'un petit moellon dont la rotation sur lui-même est indispensable pour éviter le creusement mutuel des surfaces qui, dans le simple glissement rectiligne, amène le milieu plus fréquemment en contact que les extrémités. Mais, quand il s'agit d'obtenir des surfaces parfaitement planes, ces moyens deviennent insuffisants, et c'est ce qui a lieu notamment pour le dressage des pierres lithographiques, où l'on se sert d'un petit moellon à châssis en fonte, percé à jour pour recevoir, à la surface supérieure, le mélange d'eau et de poudre de grès versé de loin en loin par l'ouvrier, qui en même temps promène et fait pirouetter le châssis moellon en agissant sur la manette excentrique dont il est surmonté verticalement. Toutefois, le résultat de ce long et pénible travail serait imparfait encore si l'on ne faisait frotter l'une sur l'autre, dans des conditions pareilles et avec des poudres usantes extra-fines, etc., deux pierres lithographiques déjà préparées isolément à l'aide de cet ingénieux procédé.

Sauf l'état plus avancé du dégrossissement préalable des surfaces et les moyens de vérification, de repérage par la coloration et l'application de règles parfaitement vérifiées, c'est aussi, si je ne me trompe, le procédé employé aujourd'hui même pour le finissage, le moirage ou le polissage de surfaces métalliques obtenues à l'aide des planeuses à outil fixe et chariot porte-pièce mobile dans le genre de celles exposées à Londres par M. Whitworth, notamment quand il s'agit de *marbres*, de platines à dresser les formes d'imprimerie, etc., dont cet habile ingénieur a mis de remarquables spécimens sous les yeux du public. Mais les procédés, facilement applicables aux surfaces épaisses et résistantes de la fonte, ne sauraient évidemment convenir au dressage de très-grandes plaques minces et fragiles.

Pour les grandes glaces en particulier, le moellon ou traîneau à doucir, autrefois composé d'un châssis mobile en charpente, convenablement chargé et muni en dessous de sa petite glace, etc., se trouvait lié à une large jante circulaire par des rais en bois léger, constituant la *table à roue*, que deux hommes vigoureux promenaient et faisaient tourner sur elle-même le long de la grande table-support ou banc fixe, dont les rebords, parfaitement dressés dans un même plan, servaient à diriger par glissement les rais et les jantes de la roue. Cette manœuvre, en apparence grossière quand elle n'est point accompagnée, lors du retournement de la glace, de moyens de vérification et de repérage indispensables pour assurer le parallélisme, le

parfait déganchissement des deux faces, cette manœuvre était employée, longtemps après 1809, au faubourg Saint-Antoine, à Paris, dans un établissement appartenant à la manufacture des glaces de Saint-Gobain, bien qu'on se servît déjà à Saint-Ildéfonse, en Espagne, et sans doute ailleurs encore, de diverses machines à moteurs hydrauliques, dont le principal caractère consistait à procurer à un traîneau unique ou à une série de petits moellons, surmontés de manettes excentriques, rangés en ligne droite, à côté ou au-dessus les uns des autres, un mouvement de glissement et de rotation simultanés le long des tables en bancs à dresser, au moyen d'équipages de tringles, de tirants ou bielles à manivelle, compris dans des plans verticaux distincts et dont le va-et-vient était transmis à l'axe du traîneau ou aux manettes des moellons, tantôt par d'autres tringles transversales, tantôt par des cerdeus croisés sur un tambour central, tantôt enfin par un rochet à *dent de loup*, de manière à obtenir automatiquement une série de passes et repasses successives. Les résultats de celles-ci, vérifiés de loin en loin et en différents sens, par des procédés suffisants peut-être pour des glaces d'une petite étendue, ne l'étaient pas à beaucoup près pour de plus grandes, surtout à l'égard du gauchissement général ou du manque de parallélisme des faces, dont les fâcheux reflets, joints à ceux que produisaient de nombreuses stries ou ondulations, n'accusaient que trop les imperfections du dressage aux yeux les moins exercés.

M. Dartigues, l'ancien membre du bureau consultatif des arts et manufactures, fondateur des cristalleries de Vonèche et de Baccarat, paraît être le premier en France qui se soit préoccupé, au point de vue mécanique, d'améliorer cet état de choses, dans un brevet d'invention du 13 mai 1820, rédigé d'une manière incomplète et obscure, mais dans lequel on aperçoit cependant l'intention de procurer au traîneau ou rodoir le mouvement épicycloïdal indispensable, en le surmontant d'un petit pignon placé entre deux crémaillères parallèles, établies transversalement sur les bords supérieurs et opposés du banc-support, l'une momentanément fixe, l'autre mobile par va-et-vient longitudinal, toutes deux susceptibles de glisser parallèlement sur des guides en règles de soutien en fer fixées sur les longs côtés du banc, à une hauteur exactement repérée au moyen d'une vis à cadran, et correspondant à l'épaisseur qu'il s'agit de donner successivement et définitivement à la glace doucie ou polie.

C'est aussi vers cette époque que la manufacture de Saint-Gobain, dirigée par les conseils de feu Clément Désormes, le célèbre professeur de chimie industrielle au Conservatoire des arts et métiers de Paris, munit ses ateliers de machines à dresser construites en Angleterre par le mécanicien Hall de Dartford, d'après un système plus ou moins analogue à ceux dont il vient d'être parlé, mais qu'il me serait impossible de préciser, grâce au mystère dont ce profitable monopole aime aujourd'hui encore à s'envelopper.

Dans un projet ou brevet en date de mars 1826, M. Hoyau, ingénieur mécanicien et graveur, plus particulièrement connu pour son ingénieuse petite machine à fabriquer les agrafes en fer étamé, s'est proposé d'obtenir un dressage plus parfait des grandes glaces au moyen d'une machine dont l'idée principale, applicable même au dressage des surfaces métalliques et à la taille des verres d'optique de forme sphérique, conique ou cylindrique, consiste dans la rotation rapide d'un outil rodant quelconque, et, plus spécialement, d'un moellon ou disque frottant, mobile autour d'un axe emporté lui-même circulairement autour d'un axe parallèle ou convergent, fixe ou lié à un dernier système d'axes pareil, tandis que la pièce à raboter ou à dresser, placée sur un chariot-support à rotation excentrique par rapport au système précédent, présente successivement tous ses points à l'action de l'outil. C'est, comme on voit, la généralisation du principe du tour figuré appliquée au dressage mathématique des plus grandes surfaces solides.

Dans le cas spécialement réalisé par l'auteur, des glaces de miroir en dalles de marbre brutes sont placées sur un disque circulaire horizontal en fonte, tournant à l'extrémité supérieure d'un arbre conique ou support vertical à pivot fixe, tandis que le moellon, pareillement horizontal, mais surmonté d'une trémie alimentaire d'eau et de sable, est animé, au-dessus de ce disque, d'un double mouvement rotatoire, l'un autour d'un arbre vertical situé à l'extrémité extérieure d'un volet ou châssis trapézoïde mobile sur charnières ou colliers, l'autre autour de l'arbre en fer vertical et fixe qui, servant d'axe inébranlable à ces colliers, est situé au-dessus et extérieurement par rapport au plateau-support de la pièce à dresser. L'arbre mobile du moellon-rodoir demeurant d'ailleurs à une distance invariable de l'arbre excentrique et parallèle du vantail tournant, on conçoit comment il devient possible de communiquer simultanément à ce rodoir et au disque-support, et cela pour toutes les positions arbitrairement données au vantail, le mouvement rotatoire continu, tiré de celui d'un arbre moteur vertical et également extérieur au disque-support, par le moyen de roues dentées horizontales, de poulies à courroies sans fin, partant de ces arbres respectifs.

Toutefois, la disposition par laquelle l'arbre du rodoir et son équipage sont susceptibles d'être élevés, soutenus, à différentes hauteurs au-dessus du disque-support, par le moyen d'une romaine à contre-poids de décharge et d'un appareil à vis micrométrique en relation avec un cadran dont les divisions correspondent aux épaisseurs de la glace à dresser; cette disposition, il faut le dire, présentait, quant à la solidité, à la précision des ajustements, de sérieuses difficultés ou imperfections auxquelles devaient se joindre d'autres inconvénients relatifs à la mobilité, à l'instabilité du plateau ou chariot-support. Ces inconvénients expliquent la cause probable de l'abandon du système, malgré l'accueil qu'il a reçu en 1838 de notre Société d'encouragement; accueil fondé, sans doute, sur le mérite des idées théoriques de l'auteur et les résultats de quelques expériences favorables, exécutées, les unes sur des dalles granitiques destinées au péristyle du Panthéon, les autres sur des pierres lithographiques de grande dimension présentées par M. Chevalier à l'Exposition française de 1834, enfin, les dernières sur divers morceaux de glaces de rebut, d'inégales épaisseurs, et qui, juxtaposées et scellées sur la plate-forme ou table tournante de la machine, furent promptement redressées, dégrossies par le moellon-rodoir.

Quant à appliquer un mécanisme aussi compliqué, aussi lourd et aussi colossal en hauteur et en largeur, au rabotage des grandes pièces de fonte et au douci des grandes et fragiles glaces de miroir, cela devait offrir plus d'un genre de difficultés, qui n'ont pourtant pas empêché, si mes informations sont exactes, le mécanicien Rauvez d'en faire une application plus ou moins étendue au dressage des glaces de Cirey (Meurthe).

Ces difficultés expliquent, d'un autre côté, comment M. Carillion, l'ancien et très-estimable garde du génie à la brigade topographique, devenu, après 1815, le collaborateur des Dartigues et des Clément Desormes, aujourd'hui ingénieur constructeur très-distingué à Paris, a été conduit, plusieurs années avant 1848, à composer, pour les manufactures de glaces, en France et en Belgique, une machine à doucir qui réunit les avantages des anciennes planeuses à raboter la fonte

de fer à ceux des rodoirs ordinairement employés au dressage des glaces; je veux dire des moellons tournant sur eux-mêmes pendant la translation qu'ils éprouvent longitudinalement ou transversalement à la pièce à dresser, dont les dimensions, souvent portées à trois mètres de largeur sur 6 et 7 mètres de longueur, devaient exclure toute idée de mettre en œuvre les planeuses anglaises à chariot porte-pièce, rectiligne et mobile, pour y substituer le système à table ou banc fixe, d'après le principe déjà appliqué par MM. de Lamorinière et Mariotte, au dressage des longues tables de fonte employées au coulage même des glaces dans la manufacture de Saint-Gobain. Ce banc, en effet, est ici composé d'un lit horizontal de pierres de taille jointives, dressées à leur superficie avec tout le soin possible, au moyen de la machine elle-même, pour y recevoir les glaces sur le côté uni, par lequel elles reposaient primitivement sur la sole plane de la table à couler, et être dégrossies ensuite parallèlement sur la face opposée, venue du coulage, plissée, ondulée irrégulièrement, malgré l'espèce de laminage qu'elle a primitivement subi, sur cette même table, au moyen de lourds cylindres en fonte.

Le banc en pierre dont il s'agit, porté sur des supports à châssis-consoles en fonte, reliés par des entretoises pareilles, est entouré d'escarpements, de rigoles également en fonte, où le résidu de l'eau et de la poudre usante va se rendre de toutes parts, en s'échappant de dessous du rodoir; ses longs côtés sont accompagnés extérieurement, et à une petite distance, de rails ou règles triangulaires placées debout et servant à guider, à soutenir des patins à coulisses que surmontent les flasques verticales en fonte et à entretoises solides de l'équipage à chariot, mobile longitudinalement, qui porte à la fois les rouages et le système, mobile transversalement, du rodoir horizontal à trémie alimentaire et auget oscillant, susceptible, au moyen d'une romaine ou bascule à contre-poids curseur, d'être maintenu dans une sorte d'équilibre à la hauteur minimum réclamée par l'épaisseur de la glace ou l'avancement du rodage aux divers instants du travail de la machine; hauteur réglée d'ailleurs par le moyen de dentures et de vis micrométriques à cadran qui permettent d'atteindre jusqu'aux fractions de quinze centièmes de millimètre. D'autre part, à l'aide d'un solide et ingénieux dispositif de support à plaque verticale et coulisses horizontales en fonte régnant dans tout l'intervalle compris entre les flasques de l'équipage à chariot, le porte-rodoir lui-même, la roue d'angle qui en surmonte l'arbre vertical, leurs chaises ou porte coussinets, ceux mêmes de la romaine ou bascule de décharge et du pignon engrené dans cette roue, dont le manchon, la boîte glisse, à rainure et languette, le long de l'arbre horizontal supérieur qui reçoit, spontanément ou automatiquement, le mouvement rotatoire du mécanisme à embrayage de friction de la machine; tout cet ensemble, dis-je, reçoit d'une crémaillère horizontale à fuseaux et pignon oscillant, qui rappelle celle des presses à calandres et d'imprimerie automatique, un mouvement parallèle transversal très-lent, dépendant du mouvement translatoire même du chariot le long de son banc à coulisses, et s'étendant à l'intervalle entier compris entre l'un et l'autre de ses flasques ou supports, c'est-à-dire de manière que le rodoir puisse atteindre successivement, comme l'outil des planeuses ordinaires, toutes les parties ou bandes rectilignes parallèles dans lesquelles on peut concevoir la glace décomposée dans le sens de la longueur du banc.

Quant au mécanisme qui imprime le mouvement à l'équipage et aux divers organes du chariot, il consiste dans un courant de lanières ou cordons sans fin passant sur une paire de poulies verticales fixes, l'une motrice, l'autre de renvoi, placées en dehors et aux deux extrémités du banc ou de la course du chariot, et venant embrasser, extérieurement et intérieurement, deux autres poulies verticales sans gorge, dont les arbres horizontaux, montés sur ce chariot parallèlement à ses entretoises et cheminant avec lui le long des rails ou du banc, impriment le mouvement rotatif, d'un côté, au manchon d'embrayage de l'arbre moteur horizontal du rodoir, de l'autre, à un équipage de roues dentées ou à courroies motrices, dont les arbres, parallèles aux précédents, donnent le va-et-vient, soit intérieurement à la crémaillère à chevilles du porte-rodoir glissant sur ses coulisses horizontales, soit extérieurement aux flasques à patins du chariot, par des roues d'angle qui mettent en action de petits pignons à arbres verticaux, engrenant le long de crémaillères dentées horizontales, fixées latéralement ou extérieurement aux chapeaux des consoles de soutien du banc à dresser, et par lesquelles la marche, progressive ou rétrograde, mais très-lente, est imprimée au chariot, tandis que ses alternatives d'aller et de retour sont réglées par les basculements d'un auget à boule roulante, que des cliquets à cames fixes ou *tocs*, placés aux extrémités de sa course, viennent alternativement pousser.

Il serait nécessaire de compléter cette rapide description par celle de plusieurs autres ingénieuses dispositions de détail qui, ne se rencontrant pas dans les anciennes planeuses anglaises ou françaises, offraient toutes de très-grandes difficultés à vaincre dans la nouvelle combinaison des pièces; mais cette description, tout imparfaite qu'elle soit, doit suffire, sans autre démonstration, pour convaincre que ce genre de machines, d'une puissance et d'une précision très-remarquables, a atteint une supériorité incontestable entre les mains habiles et savantes de M. Carillion, jugé digne de la médaille d'or à l'Exposition française de 1849, pour l'ensemble de ses travaux, et qui, successeur en quelque sorte de l'honorable M. Pihet, le vétéran de nos grands constructeurs de machines, a rendu de particuliers services aux manufactures de glaces, en les dotant d'utiles appareils pour le laminage, la transport, le retournement de ces glaces, sources, jusque-là, de tant de fatigues et de dangers pour les ouvriers.

Quoique beaucoup d'établissements, en France ou à l'étranger, soient tentés de n'accorder qu'un assez faible intérêt ou mérite industriel à des perfectionnements de cette espèce, parce qu'ils apportent, comme la machine même ci-dessus, plutôt des moyens de sûreté et de précision mathématique qu'une forte et appréciable réduction de prix dans les travaux et les produits des manufactures; néanmoins on doit espérer que le sentiment public et le goût de plus en plus sévère et épuré des consommateurs ne tarderont pas à répandre, à consacrer les belles et utiles conceptions mécaniques de l'ingénieur Carillion.

Dans la machine à polir les glaces que M. Carillion a mise à l'Exposition de 1855, le mouvement de va-et-vient des polissoirs doit être donné par une machine à vapeur horizontale de la force de six chevaux; l'amplitude de ce mouvement doit être de 80 centimètres; la translation de la pierre a lieu au moyen d'une série d'engrenages et d'une crémaillère; la pierre est transportée de 5 millimètres pour deux mouvements de polissoirs.

L'ouvrier qui conduit la machine est complétement le maître de ce mouvement; il peut rendre la pierre immobile, si cela est nécessaire, et faire mouvoir les polissoirs, soit à droite, soit à gauche, à sa volonté.

De temps en temps, c'est-à-dire environ toutes les quatre heures, il faut remettre les polissoirs en état, en les imprégnant de nouveau rouge (peroxyde de fer); il faut enlever les mains qui les font mouvoir pour les retirer, et ces mains reposent alors sur un support qui les empêche de toucher à la glace.

Le mouvement du moteur est transmis aux polissoirs par l'intermédiaire de leviers assez longs pour que les ouvriers qui servent cette machine puissent passer sous les bielles qui les font mouvoir, et ces leviers sont fixés sur la plaque de fondation. Ce système n'est pas celui adopté ordinairement : dans la plupart des machines à polir, les leviers sont fixés au plafond du local dans lequel elles fonctionnent, ce qui oblige à construire un bâtiment spécial, très-élevé et très-solide, et comme ce bâtiment doit être large, il y a nécessairement sous le toit un espace qu'il serait convenable d'occuper, mais qui est inhabitable à cause du mouvement que lui donnent ces leviers.

Cet inconvénient n'est pas le seul. Le tremblement donné au plafond détermine sur la glace la chute de corps étrangers qui, s'ils sont durs, la rayent, et, pour enlever ces rayures, on fait toujours des bassins, ce qui détruit la régularité de la réflexion, qualité très-précieuse d'une glace.

Ces inconvénients ont provoqué la nouvelle disposition donnée aux leviers.

Les pierres ont $2^m,65$ de côté, et sont carrées ; sur ces pierres on scelle des glaces de dimensions diverses et assorties pour couvrir toute la surface, qui est de 7 mètres carrés ; toutes ces glaces ainsi réunies sur une pierre se nomment une levée.

Pour sceller ces glaces, il y a un appareil spécial qui oblige toutes les glaces d'une levée à être sur le même plan, du côté où les polissoirs doivent frotter.

Sur une levée on place 8 polissoirs doubles ; la surface d'un polissoir double est de $0^{m},1080$; la surface des 8 polissoirs est donc de $8 \times 0,1080 = 0^{m},8640$.

Le poids d'un polissoir double est de 24 kilogrammes, donc le poids des $8 = 24 \times 8 = 192$ kilogrammes. Il y a donc sur chaque mètre carré de la levée une surface de polissoirs de $0^{m},1234$, dont le poids est de $27^k,4$.

La machine qui fait mouvoir ces polissoirs donne 40 coups de piston par minute, et la course du piston est de 80 centimètres, donc le chemin parcouru est de $40 \times 80 = 3200$ centimètres, et par seconde de $\frac{3200}{60} = 53,3$.

Les polissoirs font le même chemin.

Il faut pour polir une levée 28 heures, donc il faut pour polir 1 mètre carré $\frac{28}{7} = 4$ heures. Nous voyons donc que pour polir 1 mètre carré de glace il faut une surface de polissoirs de $0^m,12$, chargée d'un poids de 27 kilogrammes, et se promenant 4 heures, avec une vitesse de 53 centimètres par seconde ; et, comme la machine est double, 4 heures suffisent pour polir une glace de 1 mètre carré des deux côtés.

POMPE CENTRIFUGE. La pompe d'Appold a été vue avec grand intérêt aux dernières expositions, à cause de sa grande puissance sous un petit volume, ce qui s'explique facilement par la grande vitesse que l'on donne à l'opérateur. Celui-ci est une espèce de turbine ou mieux un ventilateur à aubes courbes, tout à fait semblable à celui proposé par M. Combes. L'obliquité des palettes et la force centrifuge repoussent vers la circonférence l'eau que la roue contient, et il en résulte une diminution de pression vers l'axe d'autant plus grande que la roue marche plus vite, et l'eau du réservoir inférieur tend à s'élever dans la roue. Celle-ci refoule l'eau qu'elle expulse dans un tuyau d'ascension, où elle s'élève à une hauteur d'autant plus grande que la vitesse du mouvement est plus considérable.

On voit, par cette simple description, que cette machine, représentée en coupe fig. 3688, peut fonctionner comme pompe aspirante et foulante, et que la hauteur d'aspiration, ainsi que celle de refoulement et la quantité d'eau élevée dépendent directement de la vitesse imprimée à la roue à aubes.

La forme des aubes de la roue et celle de son enveloppe exercent une grande influence sur l'effet utile de cette machine. L'eau qui y circule y est, en effet, animée de deux mouvements : l'un de transport général, qui lui est imprimé par la roue, qui l'emporte avec elle, et l'autre de circulation sur les aubes. Il importe qu'à la sortie de la roue la vitesse qui résulte de ces deux mouvements soit la plus faible possible pour éviter la perte de force vive qui en résulterait.

Sous ce rapport, l'usage des aubes courbes adoptées par M. G. Appold est évidemment préférable à celui des aubes planes. Seules elles peuvent permettre à la partie des palettes voisine de la circonférence extérieure de ne pas faire tourbillonner inutilement l'eau, mais de la faire progresser utilement.

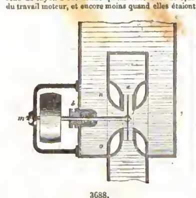
Enfin il est facile de comprendre que, pour utiliser toute la pression que la force centrifuge développe à la circonférence de la roue, il convient de laisser celle-ci à peu près libre sur tout son pourtour, en donnant au tuyau d'ascension une assez grande dimension pour que la vitesse de transport y soit faible.

Voici les chiffres d'essais faits lors de l'exposition de Londres pour apprécier le mérite de ces pompes ; de plus, afin de mettre plus clairement en évidence l'influence de la forme des aubes et l'avantage des aubes courbes sur les aubes planes, on a successivement placé dans la machine de M. Appold sa roue ordinaire à aubes courbes, une roue de même dimension, à aubes planes inclinées à 45° sur le rayon, et une roue semblable à aubes planes dirigées dans le sens du rayon.

Numero des expériences.	Volumes d'eau élevés en litres en une seconde.	Hauteur d'élévation.	Effet utile en une seconde.	Travail moteur dépensé en une seconde.	Rendement ou rapport de l'effet utile au travail moteur.	Nombre de tours de la roue en une seconde.
Pompe de M. Appold, avec ses aubes courbes.						
	lit.	m.	km.	km.		
1	159,0	2,590	413,00	717,60	0,588	828
2	124,0	2,745	340,00	526,00	0,648	718
3	87,9	5,690	500,00	774,00	0,749	792
4	97,2	5,690	552,00	807,80	0,685	792
5	93,5	5,897	551,00	810,00	0,680	788
6	94,6	5,897	558,00	859,00	0,650	800
7	32,73	7,970	261,00	697,00	0,375	843
8	51,50	8,235	424,00	894,00	0,475	876
Pompe de M. Appold, avec des aubes planes inclinées à 45° sur le rayon.						
1	42,40	5,480	233,00	583,00	0,398	694
5	55,81	5,480	306,00	698,00	0,434	690
Pompe de M. Appold, avec des aubes planes dirigées dans le sens du rayon.						
1	35,87	5,480	197,00	810,00	0,243	720
2	27,90	5,480	153,00	660,00	0,232	624
Pompe de M. Gwyne, à aubes planes dirigées dans le sens du rayon et à tuyau de circulation.						
1	22,0	4,17	91,74	187,55	0,490	675
2	21,2	4,17	89,46	465,50	0,190	608

En examinant les résultats contenus dans ces tableaux, on voit que la pompe centrifuge à aubes courbes de M. Appold donne un rendement très-satisfaisant, puisqu'il s'élève, pour cette machine, à 0,65 et même 0,68 de travail moteur dépensé, tandis que les pompes de ce genre à aubes planes dirigées dans le

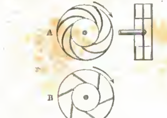
sens du rayon n'ont donné qu'un effet utile de 0,23 du travail moteur, et encore moins quand elles étaient



3688.

accompagnées d'un canal étroit dans lequel l'eau était obligée de circuler.

En effet, si les palettes sont droites, comme dans les figures B, C (fig. 3689), l'eau conserve nécessairement une vitesse dans le sens du rayon, quand elle



3689.

quitte la roue, tandis que c'est la vitesse suivant la tangente à la circonférence qui est seule utile; par suite, on communique à l'eau une force vive plus grande que celle qui était indispensable, et l'on consomme un travail moteur trop considérable. Si, au contraire, les palettes sont courbées en arrière comme en A, par rapport au mouvement de l'axe, de manière que le bord ait à peu près la direction de la tangente à la circonférence, la direction du mouvement de l'eau le long de la palette se trouve alors la même que celle d'entraînement, et il n'y a pas de force vive inutile, si les vitesses de ces mouvements sont égales.

Il résulte de ces expériences que la machine exposée par M. Appold est susceptible de rendre de bons services pour l'élévation des eaux à des hauteurs qui ne dépassent pas 6 mètres, et comme, dans le cas où elle serait immergée dans les eaux inférieures, elle n'aurait besoin d'aucune soupape, elle pourrait être avantageusement employée à des épuisements d'eaux troubles ou à des jeux d'eau artificiels. Mais il faut remarquer qu'elle doit marcher à de grandes vitesses, qu'elle exige un mécanisme convenable pour les lui communiquer, et un moteur en rapport avec les effets à produire, tel, par exemple, qu'une machine à vapeur locomobile.

Quant à l'admission de l'eau dans la roue, il faut que l'eau passe directement du tuyau d'aspiration dans la roue, sans l'intervention d'aucun réservoir dans lequel la force vive du courant, communiquée par l'acte de l'élever par ce tuyau, puisse être détruite, et ce n'est que par le centre qu'elle peut arriver pour que rien ne gêne l'arrivée de ce courant. Il semble qu'on pourrait employer des canaux convenablement tracés pour diviser l'eau, et faciliter son entrée entre les palettes, imiter, en un mot, la disposition employée pour les turbines.

Il est clair que l'action de la force centrifuge pour accroître continuellement la vitesse de l'eau sur les palettes, à mesure qu'elles s'éloignent du centre, ne peut produire son effet sur toutes les particules d'eau d'une même section, qu'autant que les sections vont en diminuant. S'il n'en est pas ainsi, quelques particules d'eau dans chaque section sont continuellement retardées, et un certain travail est consommé en remous, pendant que le courant ne peut que souffrir de ce trouble destructeur de force vive. Cette diminution de section des canaux pourrait sans doute être obtenue en donnant aux deux côtés de la roue la forme de disques coniques; moyen employé dans le ventilateur de M. Lloyd.

La communication du mouvement à l'axe placé dans le réservoir dans lequel la roue tourne peut être disposée de plusieurs manières, mais autant que possible au-dessus de la roue. A cet effet, M. Appold fixe la roue sur un axe qui traverse les deux côtés du réservoir.

La vitesse de la roue doit être en raison de la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée. A une certaine limite, cette hauteur est impossible; mais bien avant, l'usage de la pompe cesse d'être avantageux.

En général, la vitesse en pieds anglais par minute à la circonférence est donnée par la formule

$$550 + (550 \sqrt{\text{hauteur à laquelle l'eau doit être élevée en pieds.}}$$

M. Appold annonce, à des hauteurs convenables, un rendement de 70 p. 100; il a pu élever jusqu'à 2,000 ou 3,000 gallons (10 à 12 mille litres) par minute avec une seule pompe aux travaux de Douvres.

PORTE-AMARRES. Les sinistres les plus fréquents à la mer ont lieu près des côtes, lorsqu'une fausse direction fait faire trop tard les manœuvres qui eussent pu faire éviter un écueil, ou qu'une tempête pousse un navire avec une puissance très-grande, danger auquel il ne dispose que de ses voiles lorsqu'il n'a, pour ainsi dire, rien à opposer. Dans ces circonstances, le salut de l'équipage dépend de la possibilité d'attacher à la côte un câble partant du navire, qui permet d'assurer les communications, d'établir un va-et-vient. Comment parvenir à ce résultat, lorsque la mer est si grosse qu'un canot est immédiatement retourné, que le meilleur nageur ne peut se tenir sur les vagues? L'industrie humaine est-elle impuissante au point de laisser toujours périr près de la côte des navires auxquels on ne peut porter secours?

Toute la question, avons-nous dit, consiste à porter, soit du navire à la côte, soit inversement, l'extrémité d'un cordage, à une distance de quelques centaines de mètres. L'idée qui se présentait naturellement à l'esprit, surtout pour les navires de guerre, c'était de lancer à l'aide d'un canon un projectile pesant attaché à

l'extrémité d'un cordage. Proposé plusieurs fois, ce système fut, en Angleterre, l'objet de nombreuses expériences du capitaine Manby. Le projectile était un boulet armé d'un grappin ; la corde était lovée sur le sol en rond ou en zigzag dans une caisse. Il est bien clair que ce système rencontre un obstacle très-grand dans l'inertie de la corde, qui doit se rompre pour peu que la vitesse du boulet, qui doit lui être communiquée immédiatement, est considérable. D'un autre côté, si cette vitesse est faible, elle est amortie presque aussitôt par la communication de mouvement à la corde et la résistance de l'air. Aussi, malgré quelques succès dans les expériences, le système Manby était oublié quand M. Delvigne, l'ingénieux inventeur de la carabine Delvigne, fit connaître son porte-amarres dont nous emprunterons la description au Rapport du jury de 1855. Il se composa d'une enveloppe très-légère et de la corde servant à établir le va-et-vient, laquelle, roulée en bobine dans cette enveloppe, constitue le projectile et lui donne, à cause de sa forme allongée, un poids supérieur à celui d'une bombe ou d'un obus du même diamètre. Ce projectile se lance avec toute pièce d'artillerie dont on dispose. On le fait d'un calibre en rapport avec celui de la pièce que l'on veut employer ; il se lance comme les projectiles ordinaires, en fixant seulement près de la pièce l'extrémité de la corde, qui se dévide de la bobine renfermée dans l'enveloppe pendant sa course.

Aussi, dans son mouvement de translation, ce projectile n'éprouve-t-il, au lieu de la grande résistance due à l'entraînement de la corde, que celle qui résulte du dévidement intérieur, résistance qui est presque nulle.

En outre, à mesure que diminue la force d'impulsion qui lui a été communiquée par l'explosion de la charge de poudre, la corde se dévide, et diminue graduellement le poids du projectile, jusqu'à ce que, complétement vidé, il ne reste plus que l'enveloppe, qui, faite de bois et fermée à sa partie supérieure par un fort bouchon en liége, flotte et forme une petite bouée que l'on peut facilement saisir, et qui, si elle tombe sur terre ou sur un navire, ne peut occasionner aucun accident, à cause de sa légèreté.

Quant aux applications, elles sont aussi simples que nombreuses ; car, en outre du cas de naufrage, le porte-amarres Delvigne peut simplifier des manœuvres longues et souvent difficiles, soit pour transmettre des dépêches entre deux navires, lorsque la mer est grosse et qu'il devient dangereux de hasarder une embarcation, soit pour prendre une remorque, soit pour porter secours à un homme tombé à la mer, en envoyant dans sa direction ce projectile flottant, qui peut le soutenir et lui donner une amarre pour le faire remener à bord.

En outre de ces avantages, le prix de revient du porte-amarres est très-minime, et sa construction assez facile pour permettre de l'employer et de le confectionner partout.

C'est là surtout son avantage, et M. Delvigne a ainsi rendu un service éminent à la navigation. Nous ne nous dissimulons pas cependant, d'une part, que la corde lancée par son appareil est très-mince : elle est de 7 à 8 millimètres de diamètre ; et en second lieu, que la bobine qui sert de projectile ne peut rester fixée sur le sol, là où elle tombe. Il faut quelqu'un pour la saisir. En outre, la corde qu'elle a entraînée, qui est très-faible, ne peut servir que pour amener à terre une autre corde plus forte, destinée à devenir le va-et-vient qui doit sauver les naufragés.

Un autre système de porte-amarres figurait aussi à l'Exposition, celui de M. Tremblay, capitaine d'artillerie de marine. Son appareil est plus puissant que celui de M. Delvigne. Il consiste en un grappin en fer, dont la verge est enveloppée d'un bourrelet en bois, et à l'organeau duquel est fixée une chaîne de quelques mètres, au bout de laquelle s'attache la corde, qui est l'amarre que l'on veut lancer. Cette corde est roulée dans une caisse, d'où elle se dévide à l'appel du grappin projectile. C'est une fusée de guerre qui lance ce grappin ; les premiers essais ont été faits avec une fusée de 9 centimètres, de la marine ; les derniers, avec une fusée de 12 centimètres, de la guerre.

Une série d'expériences a démontré que le grappin atteignait des distances de 3 à 400 mètres ; c'est une distance égale à celle qu'atteint le projectile de M. Delvigne. Mais, contrairement au système de ce dernier, la corde que lance M. Tremblay n'a pas moins de 13 millimètres de diamètre ; elle peut donc servir elle-même tout d'abord de va-et-vient, et en outre le grappin qui l'entraîne se fixe dans le sol où il tombe, et on peut exercer sur lui tout l'effort nécessaire au sauvetage que l'on veut opérer.

L'appareil Tremblay est incontestablement plus puissant et plus efficace que l'appareil Delvigne ; mais la nécessité de l'emploi d'une fusée de guerre fait qu'il n'est à la portée que des bâtiments de l'État, et à terre dans des stations d'une certaine importance, par conséquent d'un usage restreint.

Il est arrivé que dans une expérience faite par M. Tremblay, en présence de l'Empereur, la corde s'est rompue. On ne doit pas en inférer l'inefficacité de l'instrument. On connaît en kilogrammes la force de projection de chaque fusée, on peut régler la force de la corde en proportion. C'est une sorte de dosage que M. Tremblay sait faire aujourd'hui. Il n'est plus à craindre que la corde casse.

Quoi qu'il en soit, MM. Delvigne et Tremblay ont inventé des appareils qui ne manquent pas de valeur pratique. Il faut espérer que les navires, aussi bien que des stations à terre, ne tarderont pas à être pourvus de l'un ou de l'autre. Nous aurons moins souvent la douleur d'apprendre que des hommes ont péri en vue de terre, quelquefois presque à toucher la terre, faute d'avoir pu établir un va-et-vient entre leur navire prêt à sombrer et le rivage.

Voici donc deux moyens de résoudre le problème, l'un qui consiste à supprimer l'inertie de la corde, en en faisant le projectile même et par suite la déroulant pendant le mouvement ; l'autre faisant naître successivement la force motrice qui entraîne la corde. L'un et l'autre ont surmonté la difficulté capitale de l'emploi de la poudre à canon pour envoyer une corde à terre ; la précision du tir n'est pas très-grande, mais lorsqu'il s'agit de viser au rivage, cela n'a qu'une médiocre importance.

Le système Tremblay, disposé de telle sorte que le navire en danger puisse se suffire, qui peut le mieux obtenir des portées étendues (celles des expériences du Champ de Mars n'ont pas dépassé 400 mètres) en employant des fusées de fort calibre, en nombre suffisant (M. Tremblay en emploie souvent trois), nous paraît surtout appelé à rendre de véritables services, si on peut l'établir à un prix peu élevé et de manière qu'il se trouve en état au moment du danger. En évitant le cercle vicieux de ne pouvoir lancer à grande distance une grosse corde par une explosion instantanée, parce que le poids et l'inertie croissant, la puissance instantanément développée fait rompre la corde ; en faisant développer successivement le travail, il a fait faire un grand pas à la question ; et il faut espérer que l'on verra prochainement passer dans la pratique ce moyen de diminuer les malheurs qu'entraînent les échouages près des côtes.

POTERIES. Nous avons déjà fait connaître, à l'article POTERIE de la 2e édition de ce *Dictionnaire*, les différents procédés à l'aide desquels l'homme transforme des terres ou limons sans valeur, en ustensiles

de première nécessité, en matériaux d'une très-grande importance industrielle, puisqu'ils sont les auxiliaires indispensables de plusieurs grandes fabrications, en objets d'un prix souvent considérable par suite du concours de l'art le plus pur et le plus élevé. Nous chercherons, sans revenir sur ce qui reste vrai, même dans cette période de progrès, à préciser les divers points qui font de la fabrication des poteries un art complet, un corps de doctrine, à présenter aussi succinctement que possible la théorie des diverses opérations qui par leur réunion composent l'ensemble des connaissances qu'on nomme aujourd'hui l'art céramique. Quelques considérations générales nous mettront à même de comprendre l'avenir de l'une des plus anciennes industries auxquelles l'homme ait demandé sur terre, tout à la fois, le bien être matériel et toutes les jouissances intellectuelles.

Les produits céramiques, en effet, considérés dans leurs applications les plus étendues, ne doivent-ils pas être classés au rang des plus variés et des plus importants? Des rapprochements historiques d'une puissante valeur ne les rattachent-ils pas à l'histoire des peuples, à celle des diverses phases de la civilisation, à celle enfin du progrès des arts? Leur emploi fréquent dans les usages de la vie, soit comme objet d'ornementation, soit comme ustensile de ménage, n'en rend-elle pas la production d'un intérêt général? Enfin presque toutes les industries n'ont-elles pas avec les arts céramiques des rapports plus ou moins directs? ignore-t-on que, par une réciprocité bien naturelle, l'art céramique se développa et prospère à son tour sous l'influence des progrès réalisés par le mécanicien, le chimiste, le physicien?

C'est grâce à la mécanique, à la chimie, à la physique, que le potier de terre réalise les conditions essentielles de fabrication rapide, économique et régulière qui peuvent lui assurer un bénéfice considérable; c'est par l'application des beaux-arts à l'industrie qu'il obtient des formes commodes, élégantes, et bien appropriées aux usages que le consommateur, de plus en plus difficile, recherche et réclame.

§ I. DES POTERIES

Considérées dans leur passé, leur présent et leur avenir.

Placées sur les bords des grands fleuves, les premières sociétés trouvaient dans les limons déposés par les eaux une matière ductile, facile à travailler, prenant et conservant sans peine une forme convenable pour contenir les grains, et acquérant assez de solidité pour pouvoir être transportée sans rupture à quelque distance du lieu de production. A cette première période appartiennent des poteries déjà remarquables par la forme et l'ornementation, poteries échappées pour la plupart à la destruction par une destination, je n'ose dire religieuse, qui les faisait enfouir avec la dépouille de ceux qui les avaient possédées.

Un premier progrès fut réalisé lorsqu'on découvrit qu'en soumettant les vases de terre à l'action d'une chaleur intense, on leur enlevait, avec leur fragilité, l'inconvénient de se délayer dans l'eau; il faut rapporter à cette seconde époque toute la plastique des anciens, et les poteries attribuées à l'art italo-grec ou romain.

Mais les vases qui ne sont pas cuits à des températures très-élevées, ou qui n'ont pas reçu d'une composition particulière la propriété d'être imperméables, restent poreux et absorbants; un grand et nouveau progrès a donc été réalisé le jour où l'on a su recouvrir les terres poreuses d'une couche vitreuse imperméable, c'est-à-dire d'une glaçure; c'est alors et seulement alors, que les poteries ont présenté les deux éléments des poteries modernes, le corps du vase ou la pâte, et la glaçure, c'est-à-dire le vernis, l'émail ou la couverte.

Les premières glaçures qui furent employées paraissent avoir été les glaçures silico-alcalines; le vernis de plomb ne fut découvert que longtemps après, mais il prit alors le caractère d'une véritable fabrication: on le fait remonter, en dehors des spécimens exceptionnels qu'on peut citer, à l'année 1283. Cette découverte est attribuée par les historiens à la ville de Schelestadt; mais Passeri réclame en faveur de Pesaro, fabrique de Toscane, l'application du vernis plombifère, d'abord sur pâte, en l'année 1100, et deux siècles plus tard sur engobe, en 1300. Depuis ces époques, le vernis plombeux s'est enraciné dans les usages des classes peu fortunées, contrairement aux sages principes de l'hygiène; il résistera malheureusement longtemps encore aux tentatives faites pour le remplacer.

On ne connaissait alors que des argiles donnant au feu des pâtes plus ou moins colorées; les vernis plombeux, transparents et minces, étaient incapables de dissimuler la couleur de la terre; l'introduction de l'oxyde d'étain dans la glaçure la rendit blanche, opaque, et donna toute facilité pour cacher, sous une couche plus ou moins épaisse d'un véritable émail, le ton plus ou moins rougeâtre de l'argile cuite: la faïence émaillée, née chez les Arabes et les Maures d'Espagne, peut-être chez les Persans, se répandit en Italie, qu'elle illustra pendant les quinzième et seizième siècles. A peu près à la même époque, la faïence émaillée s'étendait en Allemagne à Nuremberg, qui devint célèbre; en France, un homme estimé de tous, Bernard Palissy, créait par les seules ressources de son génie des poteries émaillées d'un genre tout nouveau, et des faïences bien voisines par leurs qualités des véritables terres de pipe.

Lorsque les porcelaines de la Chine et du Japon, fabriquées dans ces contrées depuis bien des siècles, furent importées en Europe, d'abord par les Portugais, puis par les Hollandais, l'industrie des produits d'art en reçut une vive atteinte. A mesure que les porcelaines devenaient plus communes et moins chères, la faïence abandonnée par les riches ne trouva plus que des consommateurs ou trop pauvres ou trop indifférents pour que la fabrication pût se maintenir à la hauteur qu'elle avait atteinte pendant le seizième siècle. Bien déchue maintenant de son ancienne splendeur, elle lutte à peine aujourd'hui contre les faïences fines qui lui retirent la consommation populaire, comme les porcelaines autrefois l'ont dépouillée de sa clientèle opulente; on peut prédire sa ruine complète avant la fin du siècle. La supériorité, comme poterie d'usage et de luxe, des porcelaines de la Chine et du Japon ne fut pas la seule cause de l'abaissement dans lequel tomba la faïence émaillée; l'émulation qu'excita la vue de ces admirables produits de l'Orient conduisit à la découverte des deux porcelaines, l'une dure, l'autre tendre. C'est en Saxe que Boëtger obtint pour la première fois en Europe de la véritable porcelaine dure. Cette découverte se répandit de 1709 à 1765 dans différentes contrées de l'Europe, malgré tous les efforts de l'Electeur de Saxe pour en conserver le monopole.

Plusieurs années avant qu'on découvrît en Saxe le kaolin et le secret de la fabrication de la porcelaine dure, on fabriquait une poterie très-remarquable à laquelle Sèvres doit en grande partie sa première célébrité. La fabrication de ces deux poteries a certainement été cause de l'abandon dans lequel sont tombées les faïences émaillées.

Pendant que le continent s'occupait de la fabrication de la porcelaine dure, l'Angleterre perfectionnait celle de la terre de pipe. L'introduction vers 1725 par Astbury du silex broyé dans les pâtes formées autrefois uniquement d'argile plastique, puis les travaux de

Wedgwood, avaient amené vers la fin du dix-huitième siècle les poteries anglaises à un degré de perfection fort avancé. Wedgwood créait encore, vers la même époque, ses grès fins aux formes imitées de l'antique, aux sculptures pleines d'élégance et de délicatesse dans l'exécution. La fabrication de la porcelaine, de son côté, réalisait de nouveaux progrès ; on découvrait les kaolins et les pegmatites altérées de Cornwall. Les grandes guerres de la Révolution n'avaient pas arrêté l'essor industriel du Royaume-Uni ; celles du premier Empire n'avaient pu gêner le développement de ses ateliers, ni ralentir ses exportations. Maîtresse des mers, l'Angleterre avait vu ses débouchés s'accroître de tous ceux qu'elle avait enlevés au commerce des nations rivales.

A la paix générale de 1816, l'Angleterre possédait une fabrication très-développée de ces terres de pipe perfectionnées que nous nommons cailloutage, de grès cérame, de porcelaine tendre. En variant la composition des pâtes et des vernis, Wedgwood et ses imitateurs avaient créé plusieurs sortes de poteries généralement d'un bon usage, et bien supérieures par l'aspect ou la solidité aux terres de pipe et aux faïences émaillées, c'est-à-dire à glaçures stannifères, qu'on fabriquait alors sur le continent. La bonne fabrication de ces produits et leur forme commode leur auraient conquis tous les marchés de l'Europe, si les gouvernements n'avaient cru devoir protéger les industries similaires par des tarifs de douane très-élevés, ou même maintenu, comme en France, une prohibition complète des produits anglais. La loi du 15 mars 1791, autorisant l'importation en France de la poterie commune et de la porcelaine, avait été rapportée par le décret du 1er mars 1793, qui interdisait toute relation commerciale avec les nations coalisées contre la France, et rangeait les poteries des deux dernières espèces parmi celles dont le commerce était expressément défendu. La loi du 10 brumaire an V confirma cette prohibition, et si les lois de douane postérieures n'ont pas modifié cet état de choses, elles ont changé tacitement du moins cette mesure de guerre en un moyen de protection.

Si l'Exposition universelle de Londres avait eu lieu trente ans plus tôt, elle aurait permis de constater certainement en faveur de l'Angleterre, en dépit des efforts de toutes les autres nations, une immense supériorité dans la fabrication des poteries à l'usage des classes moyennes ; mais l'exemple donné chez nos voisins et l'expérience qu'ils avaient acquise n'ont pas été sans porter leur fruit, surtout chez nous, et les progrès que l'art céramique a faits en France depuis le commencement de ce siècle sont de la plus grande importance. Bien plus, la fabrication des cailloutages serait capable, au point de vue de la qualité, de lutter aujourd'hui contre ces produits similaires anglais, si des considérations d'un tout autre ordre, la question économique, qui domine de si haut ce sujet, n'engageait encore à présent à n'admettre qu'avec la plus grande réserve, en concurrence sur nos marchés avec les produits français, les productions des fabriques étrangères.

Les expositions de Londres et de Paris ont mis en présence l'industrie céramique anglaise et celle de toute l'Europe manufacturière ; on a pu constater, dans ces deux circonstances, combien est générale, supérieure et variée la céramique moderne ; l'ensemble de toutes ces fabrications, qui forment un faisceau des plus complets et des plus instructifs, met en lumière les causes de ces améliorations, évidemment liées avec le développement et la diffusion des sciences qui prêtent ou des matériaux ou leur concours efficace aux arts céramiques. L'Exposition de Londres n'a guère précédé que de cinq années celle de Paris, et personne n'a manqué d'observer l'amélioration générale que les produits anglais, au point de vue de la forme, doivent à la vue des produits sortis de la manufacture de Sèvres. A peine hors du Palais de l'industrie, la fabrication de Limoges, comprenant qu'il ne fallait pas laisser à l'Angleterre seule le droit de nous copier, a fait des sacrifices considérables pour modifier ses formes et la perfection de son travail. Tous ceux qui ont eu le bonheur de voir l'Exposition de la France centrale en 1858 ont été surpris du développement réalisé par les manufactures limousines, depuis longtemps endormies sur leur vieille réputation. Les expositions régionales que le gouvernement semble prendre à tâche de protéger offrent une arène nouvelle aux nouveaux venus qui, trop jeunes pour se présenter en concurrence avec des réputations justement classées, aiment à se tenir à l'écart lors des expositions universelles, et préfèrent le silence à des classements incertains. Les concours régionaux nous paraissent appelés maintenant à rendre les services qu'on attendait autrefois des expositions nationales ; elles stimulent au même degré l'industrie locale, source des progrès généraux. Cette manière de voir est parfaitement d'accord avec l'opinion du public, et l'empressement avec lequel il a visité cette année les expositions de Rouen et de Bordeaux. Quant à l'industrie nationale, il faut plus aujourd'hui c'est avec le monde entier qu'elle doit compter, et des expositions universelles séparées par des intervalles d'une dizaine d'années peuvent seules lui profiter. Qu'on me permette d'émettre ici un vœu, celui de voir accepter en principe la mise hors concours de tous les vainqueurs des expositions précédentes, lorsqu'ils ont progressé. Cette mise hors concours, avec citation honorable, ajouterait un degré de plus aux récompenses que le jury décerne. Dans cette situation, dans une direction donnée, les seconds auraient chance de devenir premiers ; à cette seule condition l'émulation serait stimulée, les abstentions impossibles.

Pour en revenir aux poteries, les expositions qui ont eu lieu depuis le commencement de ce siècle permettent d'établir des faits incontestables qui donnent à l'historien impartial le moyen de s'y reconnaître dans l'exposé de tous les perfectionnements dont le consommateur constata la succession rapide.

Cherche-t-on à se faire une idée réelle des progrès réalisés pendant ces cinquante dernières années dans la fabrication des poteries ; veut-on connaître ce qu'étaient, au commencement de ce siècle, les différentes industries qui s'y rattachent et ce qu'elles sont aujourd'hui ; nous remarquerons que toute l'action utile pour améliorer ces produits doit être partagée pendant cette période entre trois puissances : l'Angleterre, la France et les pays allemands. Nous croyons qu'on nous accordera que nulle part la transformation des produits et leur amélioration n'a été plus profonde qu'en France. Cette circonstance nous paraît tenir, non pas à ce que nous avons pu suivre avec plus de facilité chez nous que partout ailleurs la marche des progrès céramiques, mais à ce que notre fabrication était restée dans le plus grand état de médiocrité. Nos terres de pipe, la seule poterie à la portée de la majeure partie des consommateurs, était restée stationnaire, tandis qu'en Angleterre, depuis les travaux de Wedgwood, cette fabrication s'était transformée d'une manière complète en des cailloutages de qualité très-remarquable. Quant à l'Allemagne proprement dite, la fabrication de la porcelaine dure était beaucoup plus répandue, même à l'usage des masses, que dans tout autre pays, et l'on s'y était à peine préoccupé de la fabrication des faïences fines, qui devaient bientôt prendre un très-grand développement dans les provinces rhénanes.

Les améliorations dont les faïences fines ont été l'objet tirent presque toutes leur origine de l'Angleterre. Établie ensuite sur les bords du Rhin, cette fabrication avait pénétré chez nous. Les terres de pipe françaises,

faits pour la première fois par Potter vers l'époque de la paix d'Amérique, sortirent d'assez bonne qualité d'abord des fabriques de Montereau, dirigées par un Anglais du nom de Hall; les fabriques de Choisy-le-Roi, de Creil, de Paris, de Chantilly, négligèrent leurs produits, la pâte devint de moins en moins cuite, et la glaçure de plus en plus tendre pour épargner le combustible. Ces éléments défectueux ne constituèrent bientôt qu'une poterie honteusement médiocre, sale et d'un mauvais usage; une seule manufacture, celle de Sarreguemines, conserva la bonne qualité de ses produits et par conséquent sa réputation. Dans ces circonstances, vers 1824, se placent les publications de M. Saint-Amand, sur les produits anglais recueillis et examinés par lui pendant plusieurs voyages en Angleterre, d'après M. Brongniart, les premiers essais datent d'une manière authentique de 1824, 1827 et 1830. A cette époque, les établissements de Creil, de Montereau, de Choisy-le-Roi, de Toulouse, d'Arboras et de Bordeaux, on n'existaient pas ou n'avaient rien produit d'analogue à ce que le commerce nomme actuellement porcelaine opaque. C'est donc aux idées répandues par M. Saint-Amand, et aux premières notions publiées par lui, quelque incomplètes qu'elles aient été, qu'il est juste d'attribuer l'élan que prit dans notre pays la fabrication de ces poteries; nous pouvons dans nos expositions en suivre le développement pour ainsi dire pas à pas, et les voir si mauvaises en 1829, si médiocres encore en 1834, meilleures en 1839, devenir dès 1844 presque irréprochables sous le rapport des qualités intérieures et extérieures.

Mais si l'idée, pour ainsi-dire théorique, appartient à M. de Saint-Amand, c'est à la fabrique de Montereau, puis bientôt après à celle de Creil qu'on doit la réalisation pratique de l'idée, c'est-à-dire la véritable introduction de la poterie dite en France *porcelaine opaque*.

En ce qui concerne plus particulièrement les faïences fines, l'Exposition de 1855 a permis de constater que les poteries à pâte fine et sonore, celles du Staffordshire, de Creil, de Montereau, de Mettlach, de Bordeaux, de Kéramis, réunissent un ensemble de qualités qui en font une poterie bien précieuse pour les usages domestiques: la dureté de la glaçure, la blancheur de la pâte, la variété des formes, l'éclat de l'ornementation, obtenue sous glaçures par une seule cuisson, au moyen des méthodes rapides de l'impression, font des cailloutages une poterie bien voisine des porcelaines dures, et permettront à ces produits d'occuper longtemps encore leur place sur la table des classes moyennes, servie, il y a près d'un siècle, par la faïence commune à glaçure stannifère.

Cette fabrication a toujours été mise en pratique en France dans des établissements considérables, et c'est à cette circonstance que sont dues la rapidité des progrès et la persévérance avec laquelle le succès a été poursuivi. La difficulté des transports, le bas prix des produits ont forcé le producteur à se placer dans des centres de consommation, de manière à livrer ses produits sans avoir à redouter une concurrence ruineuse ou par trop menaçante. Grâce à ces précautions, la plupart de nos fabriques de cailloutage, assurées du placement de leurs produits, montées avec des capitaux suffisants, débarrassées d'une rivalité qui n'aurait d'autre effet que d'amener sans nécessité des baisses de prix malencontreuses, sont dans un état assez prospère. Toutefois, il ne faut pas se dissimuler que la concurrence créée par le réseau de chemins de fer qui traversent la France rendra prochainement possible une lutte sérieuse entre nos différentes manufactures, et que plusieurs pourront succomber. Les plus faibles ont d'ailleurs le droit de compter sur l'augmentation de la consommation.

La véritable source de gain dans ces usines sera bientôt la substitution des procédés mécaniques aux opérations manuelles regardées, il y a quelques années, comme les seules applicables à la confection des poteries.

Les conditions d'existence des manufactures de porcelaine dure en France sont bien différentes. La fabrication de cette poterie n'a reposé jusqu'à ce jour que sur de petits capitaux, disséminés dans plus de quarante fabriques, qui pour la plupart n'ont eu qu'une existence éphémère, et qui passent de main en main. La cuisson de la porcelaine au moyen de la houille, lorsque toutes les conditions de réussite auront été bien étudiées, doit permettre un jour ou l'autre, et ce jour n'est peut-être pas très-éloigné, de grouper autour des mines de houille les manufactures de porcelaine. Le déplacement progressif des fabriques, et la concentration inévitable de la fabrication dans de grands établissements changeront radicalement sans doute la situation des manufactures, alors surtout qu'on reconnaît comme possible actuellement l'introduction des moyens mécaniques même dans le façonnage des pièces; et vraisemblablement à ce moment, des recherches plus suivies, des directions de plus en plus intelligentes, ajouteront encore aux mérites déjà si grands de la fabrication de la porcelaine française.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons rien dit de la poterie de terre grossière, de la poterie commune à glaçure stannifère, des grès communs vernissés ou non. Ces produits qui se font à peu près partout, et qui s'adressent principalement aux consommateurs malaisés se consomment généralement sur place; ils doivent être livrés, peut-être la faïence exceptée, à des prix tellement bas qu'il n'y a guère possibilité de les grever de frais de transport. Ces poteries, objet d'une fabrication journalière et considérable, se fabriquent en nombre immense, et la quantité va toujours en augmentant, au moins en ce qui concerne la fabrication française. Ce développement est remarquable, même en présence de la concurrence que font aux poteries de terre la fonte, la tôle émaillée et le fer-blanc qui, depuis quelques années, satisfont sous forme d'ustensiles de ménage aux besoins les plus pressants des classes les plus nécessiteuses, et sont appliqués chaque jour à des emplois nouveaux.

La faïence commune, très-répandue il y a cent ans, abandonnée par le riche, lutte à peine maintenant avec les faïences fines, qui lui enlèvent la consommation populaire comme entrefois la porcelaine l'a privée de la clientèle opulente. Toutefois, elle voit s'ouvrir devant elle un nouvel avenir; elle cherche à pénétrer dans le domaine de l'art et à reconquérir la position élevée dont elle eût pu ne jamais déchoir. Quoi qu'il en soit, il est certain que cette faïence a disparu en grande partie déjà devant les terres de pipe, et celles-ci devant les cailloutages anglais. Que deviendra cette fabrication? Nous croyons probable que dans un avenir prochain, ceux-ci, à leur tour, perdront de leur importance devant les porcelaines dures, la poterie par excellence pour les objets de service.

Mais en France, ainsi que nous l'avons dit à l'article acide borique, l'existence des manufactures de faïence fine pourrait être menacée par toute crise commerciale entravant l'entrée de l'acide borique. L'introduction de cet acide et celle du borax dans les glaçures des faïences furent l'une des causes principales de l'amélioration de ces poteries; et si d'une part on n'arrivait pas à se créer d'autres sources capables de fournir cette matière et de suppléer à celles de la Toscane, l'intérêt des consommateurs serait en droit de demander au gouvernement telles mesure qui conduirait à leur ruine plusieurs de nos fabriques aujourd'hui florissantes.

Quoi qu'il doive advenir, nous engageons les fabricants qui nous consultent à diriger tous leurs efforts vers l'amélioration de la porcelaine dure; la pureté des formes nous donne l'avantage sur les autres pays. Mais il ne faut pas oublier que l'Angleterre possède à la fois de grandes richesses en combustibles minéraux et tous les matériaux propres à la confection de la porcelaine dure. Quant à l'économie de la main-d'œuvre, quant à l'achat des matières premières, les événements qui se préparent en Chine et que j'avais prévus dès 1851 sont peut-être de nature à donner aux porcelaines leur plus grande extension, en rendant complétement ouvert un pays qui, convenablement exploité, doit conquérir et conserver le monopole de la fabrication. En Europe, d'ailleurs, de nouveaux gîtes de kaolins sont exploités et quantité d'argiles blanches ou légèrement ferrugineuses, associées à des roches granitiques suffisamment fondantes, peuvent servir à faire à bas prix des porcelaines communes bien supérieures à toutes les autres poteries opaques.

Dans les circonstances présentes, la fabrication de la poterie donne lieu presque partout à des transactions considérables. D'après M. Schuetz, les arts céramiques y compris la fabrication des tuiles, des carreaux et des briques, créeraient une valeur de 94 millions de francs. L'exportation anglaise, relevée par l'administration, porte sur des objets qui représentent 25 millions en 1850; le chiffre s'élève à 32 millions pour 1851. L'organisation céramique anglaise diffère considérablement de celle que nous avons signalée pour la France; il peut être utile de la faire connaître ici. Loin d'être éparse sur toute la surface du territoire, elle se trouve à peu près circonscrite dans la même localité qu'on nomme pour cette raison les Potteries; c'est une partie du Staffordshire. On comptait dans cet arrondissement à l'époque à laquelle j'y suis allé, pendant l'été de 1851, sur une étendue d'environ 4 myriamètre, 144 fabriques de cailloutages, grès cérames, porcelaines tendres, occupant plus de 60,000 ouvriers de tout sexe et de tout âge; ce chiffre représente en moyenne 417 individus par établissement.

Plusieurs cours d'eau, le canal du grand Tronc, le canal de Newcastle, traversent ce canton et mènent au pied même des fabriques, les bateaux dans lesquels on charge les produits fabriqués en échange des matières premières; une circulation par voie ferrée relie encore aux principaux points du littoral ce centre d'une fabrication colossale. De tels éléments de succès doivent assurer pour longtemps un avenir prospère; ils autorisent à redouter pour les produits des manufactures françaises dans une époque assez rapprochée de nous une lutte sérieuse que nous n'aurions pas à craindre avec les autres nations.

En effet la Suède, la Norvége et le Danemark reçoivent des quantités considérables de produits anglais; l'Italie que l'Angleterre approvisionna aussi de poteries, cherche à fabriquer par elle-même, mais de longtemps elle ne peut songer à l'exportation. En Espagne, plusieurs fabriques cherchent à perfectionner leurs poteries, mais dans le cas même où toutes atteindraient le développement de celle de Séville, la consommation intérieure enlèverait tout, avant que les produits ne soient arrivés sur les marchés français. En Portugal, les établissements de Coïmbre et de Vista Alegre ne sauraient encore réserver pour l'exportation une partie de leurs faïences et de leurs porcelaines.

L'organisation céramique de la Belgique se rapproche beaucoup plus de celle de la France que celle de l'Angleterre; la porcelaine dure, la faïence fine et les grès y sont fabriqués sur une grande échelle, et les conditions avantageuses qu'entraînent la présence simultanée d'un combustible de bonne qualité et de prix modéré, d'excellentes terres et des communications promptes et faciles permettront peut être un jour sur nos marchés une concurrence sérieuse, au moins pour les grès et les faïences fines.

La Belgique est reliée par le Luxembourg et les provinces rhénanes à nos manufactures de l'Est, mais en dehors de notre frontière; toutes les manufactures étrangères qui de ce côté pourraient approvisionner notre marché se trouvent placées à peu près dans les mêmes conditions que la production belge, c'est-à-dire quelles jouissent des mêmes avantages pour le transport, la houille, les terres et le choix des matières premières. Les fabriques de Mettlach, Vaudrevange, Septfontaine et Keramis, sont admirablement placées pour écouler à la fois, sur les deux côtés du Rhin, aussitôt qu'il leur sera permis de le faire, les divers produits qu'elles établissent. Quant aux pays allemands, la Prusse, l'Autriche, la Bohême, la Saxe, leur production céramique principale est la porcelaine dure; la faïence et les grès que le consommateur réclame proviennent surtout des provinces rhénanes dont les produits circulent au loin faute d'une concurrence sérieuse. On ne compte en dehors de Mettlach et Vaudrevange que quelques petites manufactures qui fassent des faïences.

Il ne saurait entrer dans le cadre de cet article de faire une histoire plus complète du passé, du présent et de l'avenir des arts céramiques. Nous renverrons le lecteur que ce sujet intéresserait à l'ouvrage important publié par M. Brongniart, sous le titre de *Traité des arts céramiques*, et aux *Leçons de céramique* dans lesquelles nous avons réuni tous les faits et les considérations qui sont tout à la fois du domaine de l'histoire et de la technologie. Nous nous bornerons à présenter ici une esquisse qui pourra servir d'introduction à l'article qui a déjà paru dans ce Dictionnaire; les diverses phases par lesquelles passent les poteries pendant leur fabrication seront étudiées et classées avec méthode et considérées théoriquement. Toutefois, comme depuis dix ans la science s'est enrichie de nouvelles méthodes et de nouveaux produits, nous en parlerons en temps voulu, tout aussi longuement que le sujet le comportera.

§ II. DES POTERIES

Considérées sous le rapport des procédés qui servent à les produire.

Nous commencerons par introduire dans ce travail un élément de division qui n'a jusqu'à ce jour été proposé par personne, et qui rend facile l'étude pratique de tous les produits céramiques: lorsqu'on examine attentivement toutes les poteries, quelle que soit leur nature, quelles que soient les qualités qu'elles possèdent, on est frappé du caractère de généralité que ces sortes de produits présentent et qui permet de les séparer en deux grandes classes: les *poteries simples* et les *poteries composées*, c'est-à-dire les poteries mates et les poteries à glaçures.

J'appellerai poteries simples, celles qui sont homogènes dans toute leur texture, qui présentent partout, à l'intérieur comme à l'extérieur, c'est-à dire sur leur surface, les mêmes matières terreuses ou vitreuses, plastiques ou non plastiques, associées de la même manière. Les poteries simples peuvent être formées de divers matériaux mélangés en diverses proportions, pourvu qu'ils soient toujours réunis partout de la même manière. Les poteries que j'appelle composées sont formées au contraire de matières de compositions différentes, non réparties uniformément dans la masse. Dans presque toutes les poteries composées, le corps de la pièce est une poterie simple, recouverte sur toute la surface ou sur une partie seulement de sa surface d'une couche vitreuse généralement très-mince, qui reçoit

suivant la composition chimique qui lui est propre, les noms de *vernis*, *émail*, *couverte*, et que je nommerai *glaçure*. L'enduit peut être terreux ; ce sera l'engobe de certaines poteries, dont nous avons déjà parlé dans l'article DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Dans tous les cas, la fabrication des poteries exige l'intervention du feu : une température plus ou moins élevée devient nécessaire pour donner au corps de pâte une dureté, une solidité, une imperméabilité suffisantes : on peut prendre une idée de l'influence du feu sur le développement de ces propriétés en comparant une assiette de porcelaine crue, une assiette dégourdie et une même pièce cuite au grand feu des fours à porcelaine.

La glaçure exige aussi l'emploi d'une température élevée. C'est un verre appliqué par couche mince sur la surface de la poterie, et l'on sait que les matières pulvérulentes destinées à donner des verres ont besoin, pour prendre l'aspect vitreux, d'une température au moins égale à la chaleur rouge.

Ainsi, que les poteries soient simples ou composées, leur fabrication implique la connaissance la plus complète des terres et des verres, celle des agents de combustion et des combustibles : nous n'avons qu'à rappeler ici de quel secours sont ces notions pour la décoration de ces mêmes produits. On peut dire avec raison que la céramique est l'étude spéciale des composés que la chimie désigne sous les noms de silicates, borates, phosphates, etc., alcalins terreux et métalliques simples ou multiples.

Le potier de terre devrait être familiarisé non-seulement avec le langage chimique, mais avec les notions les plus étendues de cette science, car si quelques-uns des silicates qu'il emploie sont directement fournis par la nature, beaucoup de ces corps doivent être préparés par lui, suivant ses besoins et dans des conditions voulues de pureté ; le fabricant doit savoir reconnaître les substances qu'il met en œuvre, vérifier la composition par les propriétés, passer des formules aux poids au moyen des calculs convenables, et s'assurer par lui-même de l'état de pureté dans lequel on lui livre les matériaux qu'il doit transformer, et qu'il n'a pas économie à faire préparer sous ses yeux.

Les réactions qui se passent sous l'influence de la chaleur au contact des divers éléments que le potier met en jeu sont essentiellement du domaine de la chimie : l'aspect particulier que présente le composé, formé quant à la fusibilité, devient un sujet intéressant de recherches, et personne ne niera que l'étude de la fusibilité des silicates, des borates et des phosphates ne résume toutes les connaissances du fabricant de poteries. Tous ses efforts doivent en effet se diriger vers ces différents buts :

Diminuer la fusibilité pour établir des pâtes qui puissent résister à la déformation, acquérir de la résistance sans fragilité, etc.

Augmenter la fusibilité, pour obtenir des vernis (glaçure, lustre, émaux, couvertes).

Mettre en rapport la fusibilité de la glaçure avec la composition de la pâte, afin d'éviter le coulage, le ressui, le truitage.

S'opposer aux réactions qui peuvent intervenir entre les éléments des glaçures et ceux des pâtes, lorsque ces réactions ont pour effet de faire naître des précipitations d'oxydes on de sels basiques qui, ne se dissolvant plus, donneraient à la surface un aspect rugueux.

Corriger ces défauts quand, accidentellement, ils se sont produits. Dans tous les actes de la fabrication des poteries, ces notions sont indispensables, ainsi que nous allons l'établir.

Tout produit céramique doit être examiné sous quatre points de vue très-différents : la composition, le façonnage, la cuisson et la décoration. Nous ne dirons rien de ce dernier objet, que nous avons suffisamment étudié dans ce Supplément, pages 126 et suivantes.

A la composition se rattache la connaissance de tous les matériaux des pâtes céramiques, leur histoire, leur origine, leur position dans la nature.

Au façonnage appartient l'histoire des machines et des procédés, soit mécaniques, soit chimiques, au moyen desquels on prépare, on mélange, on combine ces matières pour en faire des poteries. A la fabrication se rattache encore le dosage des divers matériaux destinés à la confection des différents objets que le commerce réclame.

La cuisson comporte l'étude des combustibles, celle des appareils dans lesquels la poterie acquiert la dureté nécessaire aux diverses usages pour lesquels elle est créée, celle enfin des moyens à l'aide desquels on protége dans le four les objets fabriqués contre l'action de la flamme, des cendres, de la fumée. Il convient encore d'y rattacher les méthodes de conduire et de juger le feu. Nous insisterons surtout sur la nature de l'atmosphère au sein de laquelle a lieu la cuisson : cette dernière notion, introduite récemment dans l'art de fabriquer la porcelaine est appelée sans contredit à régulariser le travail, en assurant le succès de l'opération. Non-seulement la force du feu, c'est-à-dire l'intensité de la chaleur, exerce sur la qualité des produits une influence considérable, mais la nature des gaz qui remplissent le four est en rapport avec la coloration que ces produits peuvent présenter.

La composition, le façonnage et la cuisson des pâtes d'une nature déterminée présentent d'ailleurs certains rapports essentiels dont l'existence complique la question et qu'il faut savoir apprécier. La composition de la pâte limite les procédés de façonnage, car si presque toutes les pâtes sont plastiques, quelques-unes n'ont aucune plasticité; on leur en donne une artificielle au moyen de mucilages et de savons; les diverses poteries offrent à cet égard des intermédiaires nombreux. La cuisson fait apparaître plusieurs défauts inhérents aux procédés de façonnage. Les méthodes d'application de glaçure sont variées avec l'état dans lequel sont les pièces au moment de la pose de la glaçure. Quant aux relations que la composition présente avec les phénomènes qui se rattachent à la cuisson, ils sont tellement évidents qu'il suffit de rappeler que toutes les poteries, même la plupart des grès cérames, se déformeraient et fondraient souvent en prenant l'aspect vitreux ou cristallisé, si nous les soumettions avec ou sans glaçure aux températures qu'exige la porcelaine dure pour acquérir la translucidité qui la caractérise.

Pour moi, j'attache une telle importance à la connaissance des modifications que la chaleur engendre dans les terres ou les mélanges terreux et métalliques, colorés ou non, que je regarde, dans une fabrication quelconque, la température à laquelle on doit cuire le corps de pâte et le glaçure comme le premier point à fixer. Ce point d'abord établi sert à faire déterminer la forme des appareils de cuisson qui, dans leurs dispositions et dans leurs dimensions, peuvent offrir des différences considérables. Ce n'est qu'après être fixé complétement à cet égard qu'on peut passer à la composition des pâtes et des glaçures. Les qualités de la poterie résultent de la nature et des propriétés des silicates qui la forment, qualités qu'il est possible d'apprécier *à priori*. Il ne restera plus à chercher parmi les matériaux que le potier peut mettre en œuvre que ceux qui le conduiront, avec le plus d'économie, avec les meilleures chances de succès, à la poterie possédant les qualités qu'il désire.

Nous ne saurions, sans trop de longueur pour cet article, donner tous les caractères des silicates, borates et phosphates simples ou composés, considérés au point de vue de leur fusibilité; on les trouvera détaillés

d'une manière très-circonstanciée dans les *Leçons de céramique* que nous avons déjà citées, et que je signale de nouveau à l'attention du lecteur qui voudrait lire avec fruit les ouvrages qui traitent de la céramique. Nous nous bornerons à faire apprécier ici le rôle que chaque élément peut remplir dans la constitution des pâtes.

Constitution des pâtes.

Si l'on examine toutes les pâtes céramiques cuites, quelle que soit l'espèce à laquelle on les rapporte, on les voit formées de silice, quelquefois de silice presque exclusivement, mais c'est l'exception; quelquefois aussi de silice en combinaison avec l'alumine, et c'est le cas le plus général; quelquefois enfin, le silicate d'alumine est en mélange avec des silicates étrangers alcalins ou terreux, de l'introduction desquels il résulte pour la pâte des inconvénients ou des qualités. Dans certaines pâtes, le silicate d'alumine peut être remplacé, en tout ou en partie, par des silicates de magnésie, mais ce cas se présente assez rarement. En général donc, les pâtes céramiques sont formées de silice en combinaison ou en mélange avec divers principes, accessoires utiles ou nuisibles. Quels sont ces principes? Quel rôle peuvent-ils jouer? Nommons-les d'abord, pour étudier une question dont la solution donne la clef de bien des réactions qui se passent dans la fabrication des poteries; ce sont, comme l'analyse chimique les décèle: l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de manganèse, la chaux, la baryte, la magnésie, la potasse et la soude. On y rencontre aussi parfois les acides carbonique, sulfurique et phosphorique.

Alumine. — Les poteries qui renferment le plus d'alumine sont celles qui cuisent à la plus haute température, lorsqu'elles ne renferment que peu d'éléments étrangers; le maximum correspond aux porcelaines dures de Sèvres, le minimum correspond aux pâtes de porcelaine tendre françaises.

Les silicates doubles qui se trouvent souvent en mélange intime avec le silicate d'alumine introduisent dans les pâtes céramiques des principes différents, tels que l'oxyde de fer et l'oxyde de manganèse, la chaux et la magnésie, la potasse et la soude, qui varient entre certaines limites, et qui, sans nul doute, exercent l'influence la plus considérable sur la température à laquelle ces poteries peuvent être soumises sans se déformer, et sur la qualité que ces poteries peuvent acquérir par le fait d'une cuisson produite dans les meilleures condition de fabrication (température et atmosphère).

Oxyde de fer. — Les nombreuses analyses qui sont connues maintenant démontrent que les proportions de l'oxyde de fer varient, dans les pâtes céramiques, dans des limites étendues. L'oxyde de fer ne peut exister dans les pâtes de porcelaine dure ou tendre qu'en proportions très-minimes : on sait que ces pâtes tirent leur caractère principal de leur blancheur complète. Cette condition n'est plus impérative dans la fabrication des grès fins, blancs ou communs, ou dans la terre de pipe; une quantité d'oxyde de fer surpassant 0,10 conduit à des compositions qui ne peuvent supporter des températures élevées sans se déformer. Il est urgent alors de ne les cuire que dans des conditions d'atmosphère parfaitement étudiées, en arrêtant au point convenable la température nécessaire à la cuisson.

Je ferai remarquer ici que la coloration que présente une poterie cuite, même en biscuit, n'est pas toujours en rapport avec la quantité d'oxyde de fer qu'elle donne à l'analyse. Cette coloration, liée tout d'abord à la nature comme à la quantité des matières introduites dans la pâte, telles que le charbon dans les poteries à pâte noire, dépend considérablement et de l'état d'oxydation et de l'état de combinaison de l'oxyde de fer; elle tient en général, moins de la composition centésimale du composé que de l'atmosphère dans laquelle la pièce a cuit ou s'est refroidie.

Des expériences précises empruntées à des fabrications variées ont fait voir :

1° Que plusieurs briques faites avec une même terre, renfermant par conséquent la même quantité d'oxyde de fer, suivant la place qu'elles occupent dans le four, sont tantôt incolores, tantôt roses ou rouges, tantot enfin complétement brunes.

2° Que les biscuits de faïence commune, quoique très-chargés d'oxyde de fer, sont tantôt d'un jaune presque clair, tantôt d'un rouge pâle, tantôt d'un rouge brun, tantôt d'un jaune légèrement verdâtre : ces teintes si diverses sont souvent offertes par les différentes parties d'une même pièce. Il importe au fabricant de faïence de produire un biscuit peu coloré, car on cherche à masquer sous une couche d'émail opaque le ton rougeâtre de la pâte : plus la coloration de la pâte est foncée, plus il faut d'opacité dans l'émail; cette opacité coûte cher; on évite la coloration en cuisant dans une atmosphère réductrice.

3° Que certaines pâtes de terre de pipe, en général peu colorées, cuisent avec une teinte jaunâtre, lorsque l'atmosphère dans laquelle elles cuisent n'est pas enfumée.

4° Que les mêmes pâtes de porcelaine, souvent très-colorées en rouge au dégourdi, ne le sont plus lorsqu'elles ont été transformées, dans le grand feu de porcelaine, en porcelaine transparente, l'oxyde de fer passant alors à l'état de silicate de protoxyde de fer.

5° Que la même pâte de porcelaine cuit tantôt blanche et translucide, tantôt opaque et jaune; blanche si l'oxyde de fer est maintenu, surtout pendant la période à laquelle la glaçure commence à fondre, à l'état de silicate de protoxyde, ce qui a toujours lieu dans une atmosphère réductive: jaune, au contraire, lorsque l'oxyde de fer peut se séparer à l'état de peroxyde de fer, ce qui se présente au sein d'une atmosphère oxydante; la coloration jaune se fait moins sentir, toutes choses égales d'ailleurs, dans les pâtes très-chargées de silice.

6° Les poteries cuites avec glaçure offrent des colorations plus ou moins intenses que la même poterie simple, suivant la nature de la glaçure et suivant la quantité de fer que le corps de pâte contient. Les cailloutages anglais dont le biscuit n'est pas entièrement blanc acquièrent une grande blancheur par le fait de l'application de la glaçure, dans la composition de laquelle on fait entrer du borax ou de l'acide borique; l'oxyde de fer qui colore l'épiderme de la pâte en contact avec la glaçure est dissous par le borax; si l'on considère en effet la cassure fraîche d'une pièce en faïence fine, on observe une coloration jaunâtre marquée, dissimulée sous la glaçure. On ne peut attribuer cet effet à l'espèce d'opacité que présente la glaçure, puisqu'elle laisse parfaitement apercevoir les impressions bleues, noires, vertes, roses, appliquées sur biscuit sous glaçure.

Oxyde de manganèse. — L'oxyde de manganèse ne se rencontre qu'accidentellement dans les pâtes céramiques; il accompagne d'ailleurs presque toujours l'oxyde de fer dans les terres qui contiennent cet oxyde.

Chaux. — Personne n'ignore que la chaux introduite dans les pâtes ajoute à leur fusibilité, lorsque cet élément n'arrive pas à des proportions par trop considérables. En effet, la chaux diminue la valeur des argiles comme produits réfractaires; sa présence dans les pâtes céramiques facilite leur déformation par affaissement ou ramollissement, aussitôt qu'on les cuit à des températures élevées.

Les poteries composées avec des argiles plastiques, avec ou sans addition de sable, ne contiennent que fort peu de chaux; elles peuvent subir sans se déformer des températures souvent fort élevées; les grès cérames fins et grossiers sont dans ce cas, et ce n'est sans doute qu'à la présence des faibles parties d'oxyde de fer, de chaux et d'alcalis, qui souillent ordinairement toutes les argiles plastiques, qu'est due l'apparence vitreuse présentée par la cassure fraîche de ces sortes de poteries.

Les poteries à pâte tendre, même d'une fabrication soignée, renferment une proportion de chaux plus forte que la pâte des grès cérames. La chaux qu'on a mise à l'état de marne reste à l'état calcaire, lorsque la température n'a pas dépassé celle à laquelle la carbonate de chaux abandonne son acide carbonique. Si la température est plus élevée, la chaux existe dans la pâte à l'état de silicate de chaux; elle ne fait plus effervescence. C'est sous cette forme que le carbonate de chaux persiste dans les pâtes des porcelaines dures et des porcelaines tendres françaises. Dans ces deux poteries, il forme une partie notable des silicates fusibles qui communiquent à ces pâtes, avec les silicates alcalins, leur transparence caractéristique.

A côté de ce rôle chimique que joue la chaux dans les pâtes céramiques, il en existe un autre très-important et physique mis en lumière par l'étude des faïences communes. Les bonnes qualités de la faïence dépendent de la manière dont elles prennent et conservent l'émail qui les recouvre. L'expérience a démontré la nécessité de la présence de la chaux dans les pâtes que le fabricant veut enduire de glaçure opacifiée par l'oxyde d'étain. La chaux contenue dans de bonnes faïences communes peut s'élever jusqu'à 0,15.

Baryte. — Quelques poteries de grès, principalement les grès de fabrication anglaise, admettent dans leur composition du sulfate de baryte; l'acide silicique réagissant à la température de la cuisson a dû chasser l'acide sulfurique; on n'en retrouverait la présence que dans les poteries cuites à de basses températures. Lorsqu'on fait usage de ce sel, il faut cuire dans une atmosphère oxydante, pour éviter la formation du sulfure de baryum.

Magnésie. — La magnésie peut remplacer, en tout ou partie, l'alumine des argiles; mais on n'a pas remarqué des qualités spéciales résultant de l'emploi de cet auxiliaire, qui n'existe généralement qu'à l'état de principes étrangers, au même titre que les traces de chaux et d'oxyde de fer contenus dans les argiles de la meilleure qualité.

Alcalis (potasse et soude). — A ce même titre la potasse et la soude font toujours partie des pâtes céramiques. Cuites à la chaleur des fours à porcelaine, beaucoup de pâtes prennent une cassure brillante, une texture serrée que l'oxyde de fer seul ne donnerait pas toujours. A des températures peu élevées, l'influence de ces éléments est nulle; car ils ne peuvent agir que comme fondants, et provenant de poussières feldspathiques ou micacées, ils ne sauraient fondre tant qu'on n'atteint pas leur point de fusion, très-élevé d'ailleurs.

Si les alcalis qu'on introduit avec les argiles dans les pâtes des terres cuites, des briques et des faïences communes, sont en proportion minime et sans importance, la présence de ces mêmes éléments dans les pâtes de porcelaine produit, au contraire, un résultat tout spécial; les alcalis doivent communiquer à la pâte sa transparence caractéristique, aidée souvent par l'addition de la chaux. Les pâtes de porcelaine dure de Limoges, de Saxe, de Berlin et de Chine, ne contiennent en effet que la chaux introduite accidentellement par les matériaux mis en œuvre; les alcalis (potasse et soude) s'élèvent de 0,12 à 0,06. C'est aussi ce dernier chiffre que contenaient les anciennes pâtes de Sèvres, connues sous le nom de pâtes artificielles (*vieux Sèvres*).

Acide carbonique. — Nous avons dit que si la chaleur de la cuisson n'a pas été suffisamment élevée pour décomposer tout le carbonate de chaux, une partie de ce sel se retrouve à l'état de calcaire; une autre partie existe à l'état de silicate. Lorsqu'on traite par l'eau pure la pâte de ces poteries, on enlève encore de la chaux, qui se trouve hors de combinaison et qui ne saurait exister qu'à l'état de chaux caustique. Sous l'influence de l'air, cette chaux reprend son acide carbonique pour se transformer en carbonate de chaux avec augmentation de volume; cette circonstance doit ajouter aux autres causes de détérioration du produit sous l'influence de la gelée; il faut donc, par une cuisson convenable, engager la chaux décomposée dans une combinaison plus stable avec l'acide silicique. Ces inconvénients, joints à ceux qui résultent déjà de la porosité, doivent se présenter dans les briques marneuses dont la cuisson n'aurait pas été suffisamment développée.

Acide sulfurique. — Cet acide ne peut se rencontrer que dans les poteries cuites à basse température, et dans une atmosphère oxydante; il peut provenir du sulfate de chaux ou du sulfate de baryte. Nos expériences nous ont démontré qu'il n'en reste pas dans les pâtes de porcelaine dure, dont la composition comporte quelquefois d'assez fortes proportions de gypse.

Acide phosphorique. — Quant à l'acide phosphorique, on le rencontre en forte proportion dans les pâtes de porcelaine tendre anglaise; il provient du phosphate de chaux, qui fait la base de ces sortes de produits. On peut le rencontrer aussi dans les pâtes de boutons phosphatiques préparées avec le dosage de M. Bapterosse. Il ajoute à la fusibilité et quelquefois à l'opacité du produit, qui prend une sorte d'opalescence.

Ces considérations sur les effets produits par l'introduction de ces divers éléments dans les pâtes de porcelaine et des poteries moins perfectionnées nous forcent à modifier l'opinion de M. Brongniart, qui séparait à titre général les éléments qui composent les poteries en principes essentiels et en principes accessoires. Il nous semble qu'en considérant seulement comme essentielles l'alumine et la silice, on se ferait une idée fausse de la fabrication des produits qui, comme les porcelaines dures ou tendres, par exemple, doivent à d'autres éléments, chaux, potasse, soude, leur transparence, c'est-à-dire leur caractère principal. On ne pourrait comprendre la fabrication des faïences communes, qui ne possèdent leurs propriétés fondamentales, application d'un émail opacifié par l'oxyde d'étain, qu'à la condition de présenter à la glaçure un excipient calcarifère.

Les pâtes cuites contiennent, en plus des éléments que nous venons d'énumérer, un principe à peu près essentiel qui joue dans la fabrication un rôle important, tant au point de vue de l'économie du façonnage qu'à celui de la réussite des pièces : je parle ici de l'eau.

L'eau que la chaleur chasse de sa combinaison avec le silicate d'alumine n'existe plus dans la pâte cuite, si toutefois la cuisson s'est faite au-dessus de 450 degrés. Quelques poteries en retiennent encore environ 10 p. 100, mais ces poteries sont à peine cuites, et rien ne prouve qu'elles n'aient été simplement soumises à la chaleur solaire.

L'eau développe la plasticité dans les argiles; il est essentiel par conséquent d'imbiber la pâte; mais comme, à la cuisson, cette eau ne se dégage pas sans effort, il est convenable de prendre, au moment de la dessicca-

tion et de la cuisson, certaines précautions. Toutefois, nous devons dire que si la plasticité, qui rend économique la fabrication de la grande généralité des poteries, est indispensable dans certains cas, elle ne l'est que lorsqu'on fait usage de quelques méthodes déterminées; dans d'autres conditions, elle n'est pas absolument nécessaire, comme, par exemple, lorsqu'on opère au moyen du coulage ou par moulage mécanique effectué sur des pâtes pulvérulentes. L'eau n'est pas au surplus le seul agent qui donne la plasticité voulue. On obtient une plasticité tout artificielle, en ajoutant aux pâtes qui n'en ont aucune des matières mucilagineuses telles que le lait, l'huile, la colle de peau, le savon vert. Dans certaines limites, l'eau combinée dans les pâtes crues n'est donc pas elle-même un élément indispensable.

PRÉPARATION DES PATES.

Sous quelle forme convient-il d'introduire, dans la fabrication que nous étudions, les éléments dont nous venons de reconnaître et d'apprécier le rôle? Quels sont les matériaux auxquels on les emprunte?

En général, les uns sont pris dans la nature, et c'est le plus grand nombre; les autres proviennent d'une préparation spéciale, ce sont des produits d'art. On peut classer ces différents matériaux soit sous le point de vue de leur nature, soit sous le point de vue du rôle qu'ils jouent dans la fabrication. Cette méthode serait la plus naturelle, s'il ne s'agissait point de produits pour lesquels il faut tenir compte des différentes températures de cuisson. Or, dans telles circonstances données, une même substance a des effets tout opposés. C'est ainsi que la chaux qui ne fond pas devient un élément très-actif pour faciliter la fusion, quand elle est unie à des proportions convenables d'argile et que le mélange subit à la fois une température suffisamment élevée.

Néanmoins, en regardant comme essentielle la plasticité de la pâte, on est autorisé dans le plus grand nombre des cas à distinguer parmi les matériaux employés dans l'art céramique ceux qui sont plastiques et ceux qui ne le sont pas; ces deux sortes de matériaux ont, en effet, leur utilité, leur rôle dans l'industrie.

Si, d'une part, la plasticité de la pâte permet un façonnage rapide, une ébauche facile, une trop grande plasticité, d'autre part, s'opposerait à la rapidité du tournage, et principalement à la dessiccation uniforme de la pièce fabriquée: il existe donc pour le fabricant un intérêt réel à diminuer la plasticité lorsqu'elle est trop développée dans les matériaux plastiques qui composent la pâte dont il fait usage. On donne le nom de matières dégraissantes aux substances qui remplissent ce double but, d'enlever une trop grande plasticité et de faciliter le départ de l'eau d'imbibition ou de combinaison soit à la dessiccation, soit au four. M. Malaguti se sert du mot *antiplastique* pour désigner la qualité de ces matières; nous croyons l'expression heureuse; car elle peint parfaitement le but qu'on veut atteindre.

Les matières plastiques sont:

1° Les *argiles plastiques*, employées plus spécialement dans la fabrication des faïences fines et des terres cuites en grès.

2° Les *argiles figulines* qui sont la base des terres cuites, desquelles on n'exige pas les qualités réfractaires.

3° Les *argiles marneuses*, auxquelles les faïences communes doivent leur propriété de recevoir une glaçure stannifère.

4° Les *marnes argileuses*, dont l'usage est le même que celui des précédentes, mais auxquelles on ajoute des argiles plastiques ou figulines.

5° Nous classerons encore dans ce groupe les collyrites, les eymelites, les talcs, qui n'ont été jusqu'à ce jour employés que dans des circonstances très-rares.

6° Les marnes calcaires et limoneuses sont encore employées; mais leur plasticité très-faible les ferait classer aussi bien parmi les matériaux antiplastiques.

7° Les éléments les plus importants de cette classe, si l'on tient compte de la valeur vénale, sont les kaolins, espèces d'argiles dont nous avons donné les qualités et l'histoire détaillée dans notre article ARGILE de ce Complément, p. 33. Ces matériaux sont la base des porcelaines dures.

Les matières dégraissantes sont beaucoup plus nombreuses et plus répandues sur la surface du globe ou plus faciles à produire dans les ateliers industriels. On distingue:

1° Le quartz (sable ou silex);

2° Les feldspaths, l'orthose, l'albite et la pegmatite;

3° Le ciment et les escarbilles;

4° La craie, le sulfate de chaux, le sulfate de baryte;

5° Le phosphate de chaux;

6° Les frittes vitreuses;

Les matériaux que nous venons de nommer n'entrent dans la fabrication qu'après avoir été lavés et broyés. Nous ne voulons ni ne devons répéter ici les divers moyens usités pour obtenir ces résultats. On procède généralement par écrasage, délayage et décantage. Le broyage comporte le cassage, le pilage et la porphyrisation.

Ces opérations sont rendues plus économiques et plus rapides quand on les fait précéder de la *calcination*, qui, sans apporter de modifications dans la composition chimique des matériaux à broyer, fait naître un grand nombre de fissures qui les rendent fragmentables. La calcination offre encore cet autre avantage de rendre plus facile un épluchage soigné; elle détermine des différences de coloration qui rendent possible l'élimination des parties ferrugineuses, point important lorsqu'on se propose de fabriquer des poteries comme les porcelaines, pour lesquelles la plus grande blancheur est de rigueur.

La description des divers appareils au moyen desquels on obtient le concassage et la porphyrisation proprement dits ferait double emploi, sans avantage aucun, avec l'article précédemment cité. Nous devons donc nous borner à renvoyer le lecteur au *Dictionnaire*, t. II, en rappelant qu'il faut, avant de mettre les matières en fabrication, vérifier si le broyage est suffisant. A cet effet, on compare les matières à des poussières prises pour *étalon*: on choisit donc un bocal cylindrique pouvant contenir 500 grammes environ, divisé dans sa hauteur en parties égales. Si l'on délaye 250 grammes de matière broyée dans 500 grammes d'eau, et qu'on observe le temps que cette matière mettra pour se déposer et prendre un niveau déterminé, on aura tous les éléments nécessaires pour faire la comparaison, en admettant toutefois que toute matière de même nature, amenée par le broyage au même état de ténuité, doive se comporter de la même manière. Si le temps mis par la poudre pour atteindre le niveau marqué sur le vase est moins court que dans l'expérience *normale*, il faudrait nécessairement ajouter au broyage. Ces méthodes, auxquelles il faut joindre le craquement sous la dent ou même entre les ongles des deux pouces, suffisent, quoique purement empiriques, dans la pratique des arts céramiques.

Certains liquides augmentent la viscosité de l'eau, comme d'autres, au contraire, hâtent la précipitation des matières que ce liquide peut tenir en suspension. Le vinaigre, une solution faible de gomme arabique, ont une influence très-marquée sur la lenteur avec laquelle s'effectue le dépôt. La température à laquelle l'expérience se fait agit sur les résultats. Il est donc indispensable, comme le fait remarquer M. Brongniart, d'opérer toujours dans les mêmes circonstances.

Lorsque les matériaux ont été broyés et lavés par décantation, on procède au dosage des matières, tantôt par des pesées directes, tantôt en employant des volumes déterminés. Le mélange intime s'obtient à l'état liquide dans des gâcheirs, ou dans des tines à malaxer, à l'état de bouillies plus ou moins pâteuses. On a pratiqué sur une très-grande échelle ce dernier système, pour les pâtes de faïence fine dans la fabrication anglaise. On a remplacé de la sorte le travail à la main, le battage, ou la marche de la pâte, par des moyens mécaniques d'une grande puissance et de beaucoup plus économiques.

Quelques fabrications grossières peuvent employer la pâte telle qu'elle sort des tines à malaxer; il n'en est plus de même pour les pâtes fines dont les éléments sont fournis par des matériaux qu'on a mélangés à l'état de bouillies claires, amenées à des densités déterminées et contrôlées par des trébuchets chargés d'un poids faisant équilibre à un volume déterminé de la bouillie. Ces pâtes se dépeseraient par ordre de densité, si l'on n'avait le soin de les ramener à l'état pâteux : c'est à cette opération qu'on donne le nom de ressuage ou de raffermissement des pâtes.

En cherchant à dénommer les différentes méthodes employées dans ce but, d'après les principes qui leur servent de base, on voit qu'on enlève à la pâte l'eau qu'elle contient en excès : 1° par évaporation spontanée; 2° par évaporation aidée du concours de la chaleur, à l'ébullition ou à des températures inférieures; 3° par évaporation aidée du concours des matières absorbantes et poreuses; 4° par filtration avec ou sans pression; 5° par filtration au moyen de la compression.

On sait, d'après les expériences qu'ont faites différentes manufactures, qu'à composition identique, la pâte pressée acquiert plus de plasticité que les pâtes raffermies par ébullition; mais cette méthode est dispendieuse à cause des sacs dont le renouvellement est fréquent. On a proposé pour les conserver de les faire bouillir dans un bain d'huile qui protége la fibre ligneuse contre l'action énervante et dissolvante de l'eau, agissant même à la température ordinaire.

La pâte, amenée par les différents moyens que nous venons d'indiquer au degré de consistance désirée pour être travaillée, doit encore être pétrie, battue, maniée, pour acquérir l'homogénéité voulue, seule capable de donner une masse se travaillant avec succès, c'est-à-dire sans chances de rebuts, gauchissements fentes, trous, etc. Cette homogénéité des masses qu'on cherche à produire par tous les engins propres à battre, à malaxer, à rebattre encore les pâtes raffermies, est surtout atteinte pour les pâtes de porcelaine dans l'opération de l'ébauchage sur le tour qui consiste à façonner des cylindres grossiers qu'on appelle *mandrins*, pleins ou creux, qu'on réduit ensuite en copeaux auxquels on donne le nom de *tournassures*; le mélange de ces tournassures avec des pâtes neuves constitue des pâtes qui présentent toutes les meilleures qualités comme facilité de travail, régularité de cuisson, etc.

On ajoute encore aux qualités de ces pâtes par un moyen détourné. Les fabricants admettent généralement que les pâtes anciennes se travaillent mieux que les pâtes nouvelles, qu'elles se gauchissent et se fendent beaucoup moins, soit en séchant, soit en cuisant.

On s'accorde à reconnaître que les argiles et les marnes lavées gagnent pour faire les faïences communes à l'exposition aux intempéries des saisons, la gelée, le froid. Les Chinois conservent, dit-on, leurs pâtes pendant plus de cent ans avant de les employer. On accepte en France, en Angleterre, en Allemagne l'influence de la conservation des pâtes pendant plusieurs années sur l'économie de la fabrication; mais il serait, il faut l'avouer, difficile de citer à l'appui de cette opinion des expériences précises faites avec assez de soin et répétées un assez grand nombre de fois pour la faire considérer comme entièrement exacte.

Tous les résultats obtenus dans le but de constater l'influence que l'âge d'une pâte exerce sur ses qualités sont modifiés par des circonstances qui ont une action efficace, et dont on ne s'est pas préservé. C'est ainsi qu'on laissait la pâte se pourrir en même temps que vieillir; c'est ainsi qu'on la mélangeait, avant de l'employer, avec des tournassures qui représentent en définitive de la pâte maniée, pétrie et remaniée, c'est-à-dire de la pâte dans les conditions les plus avantageuses d'une grande facilité de travail, offrant les chances d'un succès presque certain.

On a remarqué que les pâtes, quelle que soit leur nature, abreuvées d'humidité, réunies en masses assez volumineuses pour que l'action de l'air ne s'étende pas jusque vers leur centre, prennent une couleur d'abord grisâtre, puis ensuite entièrement noirâtre; elles répandent une odeur prononcée d'hydrogène sulfuré; elles conservent ces deux propriétés tant qu'elles contiennent de l'eau, tant qu'elles sont abritées du contact de l'air par une écorce assez épaisse. Cette coloration de la pâte est d'autant plus prompte et d'autant plus prononcée que les eaux dont elle est abreuvée se trouvent être moins pures. Mais la coloration noire disparaît à l'air, il se dégage de l'acide carbonique, et la liqueur que l'on obtient renferme de l'oxyde de fer à l'état soluble.

Or la retraite des pâtes pourries étant moins grande que celle des pâtes neuves, les défauts que présentent ces dernières diminuent dans les pâtes qui ont subi la putréfaction : on a cherché les moyens d'accélérer la pourriture dans les pâtes nouvellement composées. Les eaux marécageuses, les eaux de fumier la développent en raison de l'espèce de fermentation qui s'y établit; les garnisseurs font pourrir la barbotine qui leur sert à faire les collages. M. Brongniart expliquait l'influence de la pourriture sur les pâtes neuves par le mouvement moléculaire auquel donnait lieu la fermentation putride, pendant laquelle il devait se produire des particules gazeuses.

Les causes qui déterminent l'amélioration résultant pour les pâtes céramiques de la pourriture et de l'ancienneté sont encore tellement obscures, qu'on n'a présenté jusqu'à ce jour, pour en expliquer l'influence, que des hypothèses; une pareille étude est difficile, et pour être traitée convenablement et par l'expérience, elle exige un temps qui manque généralement aux manufacturiers; l'interprétation que je propose, si l'analyse venait me donner raison, me semble de nature à jeter un grand jour sur cette question; elle est purement hypothétique quant à présent; mais elle est si simple, elle rend si bien compte de tous les faits observés, qu'elle me paraît excessivement probable.

L'eau pure n'est nullement apte à communiquer aux pâtes céramiques les bonnes qualités qu'elles tiennent de la pourriture; mais l'eau chargée de matières en putréfaction peut, au contraire, dans certaines conditions toutefois mal définies, les développer d'une manière notable. On s'accorde à reconnaître que dans l'acte de la pourriture utile, il se développe une quantité très-sensible d'hydrogène sulfuré. Ce gaz prend naissance très-vraisemblablement par suite de la transformation du sulfate de chaux en sulfure de calcium sous l'influence de certaines matières organiques, et se dégage quand ce sulfure se trouve en contact avec l'acide carbonique de l'air. La coloration de la pâte en noir, son blanchiment à l'air libre, s'expliquent par la formation du sulfure de fer noir brûlant à l'air libre, et s'échappant, avec les eaux de lavage, à l'état de sulfate de fer à réaction acide, qui dégage une certaine partie de l'acide carbonique abandonné par le calcaire

introduit à dessein dans les pâtes de porcelaine de Sèvres.

Or, on sait que dans certaines localités cette réaction du sulfate de chaux sur les matières organiques, qui donne naissance à des dégagements considérables d'hydrogène sulfuré, se trouve accompagnée de la formation d'une substance particulière glaireuse. Ne peut-on pas supposer que cette matière devient la cause de la plus grande plasticité que prend la pâte dans les circonstances de la pourriture? On n'ignore pas d'ailleurs qu'on donne à la pâte une certaine plasticité par des mélanges appropriés.

Quant à l'ancienneté, nous avons avancé, M. Ebelmen et moi, dans notre travail sur les matières employées, en Chine, à la fabrication de la porcelaine dure, qu'un long séjour des pâtes sous l'eau pouvait bien déterminer la décomposition d'une partie de l'élément feldspathique qu'elles renferment. Nous avons trouvé, en effet, par des analyses précises que les pâtes de la Chine paraissent être composées de 1 partie de kaolin pour 1 de pétro-silex, tandis que les documents synthétiques les plus dignes de foi s'accordent à donner 2 de pétro-silex pour 1 de kaolin. L'altération du feldspath suivie de la dissolution d'une certaine quantité de potasse fournit une nouvelle proportion de l'élément plastique; cette décomposition peut être, du reste, facilement admise; car pendant la végétation, les roches granitiques fournissent aux plantes, assez rapidement encore, les alcalis nécessaires à leur développement. La transformation kaolinique doit être, en outre, sollicitée par le jeu des décompositions particulières dans lesquelles la pourriture prend son origine, et nous avons déjà dit que l'action prolongée de l'eau sur les silicates alcalins devait avoir pour résultat forcé la formation d'un silicate d'alumine privé de silicates alcalins (voyez ARGILE).

Une dernière observation que nous ferons sur ce sujet porte sur les améliorations que la pâte doit subir sous le rapport de sa pureté, lorsqu'on s'occupe de la porcelaine. L'oxyde de fer est le plus grand obstacle à la blancheur; il est évident que la pourriture des pâtes tend à l'éliminer à l'état de sulfate soluble; l'expérience prouve, en effet, que des pâtes primitivement colorées en jaune, parce qu'elles avaient admis dans leur composition des kaolins ferrugineux, ont fini par donner des pâtes presque irréprochables sous le rapport de la blancheur, lorsqu'on les avait laissées suffisamment pourrir.

Façonnage des pâtes. — Les pâtes pétries, malaxées, et pourries, lorsqu'on juge que cette dernière opération devient utile, nécessaire même à l'économie de la fabrication, sont amenées dans des ateliers spéciaux dans lesquels on leur donne la forme que le consommateur réclame.

On peut diviser en deux classes les procédés de façonnage. Les uns ont pour but d'ébaucher les pièces, les autres ont pour objet de les terminer. Il est certaines fabrications grossières qui ne comporteraient pas les dépenses qu'on ajouterait à l'ébauche; il est aussi des moyens d'ébauche assez parfaite pour donner presque immédiatement et de premier jet, en quelque sorte, des pièces terminées.

Parmi les procédés d'ébauchage qu'on trouvera décrits à l'article POTERIES du Dictionnaire, on distingue :

1° L'ébauchage à la main, au colombin ou à la balle;

2° L'ébauchage au ballon et sur le tour;

3° Le moulage comprenant le calibrage, le coulage et le tréfilage, ou moulage à la presse.

On nomme achevage l'ensemble des procédés variés qui ont pour but de terminer les pièces. Il comprend diverses opérations distinctes, savoir :

1° Le tournassage, comprenant le guillochage et le gaudronnage;

2° Le réparage, comprenant l'évidage et le sculptage;

3° Le molletage et l'estampage;

4° L'applicage et le collage.

Chacune de ces dénominations rappelle l'opération qu'elle représente. Nous n'aurons donc pas à revenir sur ces diverses opérations avec plus de détails que nous n'en avons donné dans le premier paragraphe. Cependant certaines méthodes ont conduit dans ces derniers temps à des résultats tellement parfaits, lorsqu'on les employait dans certains cas spéciaux, qu'il nous est impossible de les passer ici sous silence. Nous profiterons de cette occasion pour expliquer quelques pratiques générales dont ne s'écartent jamais les ouvriers, même dans les opérations les plus connues de l'ébauchage sur le tour.

On avait cru pendant longtemps qu'il n'était pas possible de faire usage de tours mus à la vapeur. On sait aujourd'hui que la combinaison du tournage et du moulage conduit, même dans les fabriques de porcelaine dure, à des résultats pratiques de la plus haute importance, et qu'il est très-avantageux de faire mou-



3690.

voir simultanément tous les tours d'un même atelier; il faut toutefois ménager à chaque tourneur la possibilité de ralentir ou d'accélérer, d'arrêter même le mouvement de son tour sans gêner en rien le mouvement

de son voisin. On y arrive au moyen de freins qui sont placés à proximité de chaque tour, et qui permettent de régler le mouvement des arbres indépendamment les uns des autres. J'ai vu, dans l'une de nos plus importantes fabriques, des tours ainsi montés sur lesquels, au moyen de surface de frictions mobiles et de pédales, on pouvait ébaucher par moulage et tournage. Ce résultat résout de la manière la plus heureuse le difficile problème de l'ébauchage mécanique sur le tour.

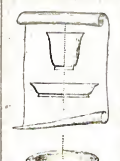
L'opération de l'ébauche sur le tour prend alors une grande régularité; personne n'ignore que la fabrication sur le tour est l'une des plus délicates de l'industrie de la porcelaine; la porcelaine dure elle-même peut être faite mécaniquement; on évite alors un grand nombre de défauts, entre autres celui du vissage; on économise ensuite un temps considérable, puisque le moulage supprime les lenteurs du tournassage. On n'a plus à se préoccuper de l'épaisseur considérable à laquelle on devait ébaucher, puisque la pâte n'a reçu, dans toutes ses parties, qu'une pression identique, ce qui ne se présente pas dans l'opération du tournage ordinaire. Comment donc s'effectue l'ébauchage sur le tour sans le secours du moulage? Quelles précautions cette opération exige-t-elle? Répondre à ces questions c'est exposer la théorie des opérations du tournage. Nous allons entrer dans quelques détails.

Nous avons dit que toute pâte céramique doit, pour pouvoir entrer dans une fabrication régulière, présenter une homogénéité des parties et des masses. C'est en raison de cette circonstance que les tourneurs élèvent puis abaissent, relèvent, pour abaisser encore, la masse informe qui doit devenir une tasse, une coupe, un vase. On peut voir dans la figure 3690 d'autre part la série des formes par lesquelles doit passer, par exemple, un ballon de pâte pour devenir une bouteille à conserver l'encre.

Je pense que pour conduire à des produits fabriqués dans des conditions normales, chaque ballon de pâte doit joindre aux sortes d'homogénéité que nous avons rappelées l'homogénéité de tendence. Il est évident que la pièce ébauchée peut être considérée comme formée par une lame de pâte hélicoïdale qui s'appliquerait sur une surface de révolution occupant le milieu de l'épaisseur de la pièce. C'est en sens inverse du mouvement qui a développé cette bande de pâte, c'est-à-dire en sens inverse du mouvement rotatoire du tour, que la retraite a lieu pendant la cuisson. Or, il faut, pour qu'il n'y ait ni déchirures ni fentes, que toutes les particules qui composent la pièce, celles du haut, celles du bas, celles de l'intérieur de la pâte, aient, lors de la retraite, la même direction avec la même vitesse. Elles ne suivront cette direction que lorsqu'elles auront toutes et tour à tour reçu l'impression de la main du tourneur, élevant et aplatissant la masse lenticulaire sous laquelle se présente tout d'abord le ballon qui doit fournir l'ébauche. Cet usage, qui ne souffre pas d'exception, n'aurait ainsi d'autre but que d'entraîner toutes les molécules d'une pièce dans une direction unique.

La pâte de porcelaine plus que toute autre pâte, en raison de sa fusibilité propre, est ébauchée sous une épaisseur considérable; cette pratique a moins pour effet de s'opposer à la fente ou à la déformation, que d'éloigner le plus possible de la pièce réelle les surfaces interne et externe de l'ébauche terminée. Ces surfaces ont reçu toutes les pressions successives qui ont amené la transformation de la masse lenticulaire, et dont l'influence n'est plus sensible à une certaine distance. On a donc d'autant plus de chances d'éviter les vissages, qu'on ira chercher plus au loin dans le bloc de l'ébauche la pièce qu'on veut fabriquer. La fig. 3691, qui représente une coupe de l'ébauche d'une soucoupe conforme au dessin donné, fait bien voir la place occupée dans l'ébauche par la pièce elle-même.

Le tournage ne peut donner que les pièces de révolution. On a fait emploi du moulage, qu'on peut diviser en moulage à la presse, s'exerçant sur pâte sèche ou simplement mélangée d'une substance très-agglutinative, et moulage en pâte molle, à la balle, à la croûte, à la housse, s'exerçant sur la terre réduite à la consistance pâteuse, molle et plastique.


3691.

On a fait, dans ces derniers temps, l'application la plus heureuse du mode de façonnage par l'emploi de la presse à la fabrication des briques creuses et des tuyaux de drainage. C'est encore à l'aide de la presse qu'on fabrique les énormes tuyaux pour conduite d'eau ou pour cheminées que le commerce rencontre aujourd'hui. Nous indiquons dans la figure qui suit une disposition en usage en Angleterre pour faire les gros tuyaux de drainage.

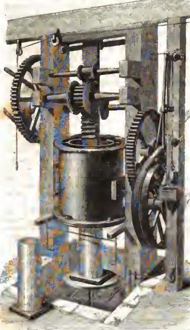
Un fort cylindre en fonte, fixé d'une manière invariable dans une position bien verticale, après avoir été rempli de pâte dans l'état voulu pour un travail rapide, se vide par l'effet du piston qui monte et descend alternativement au moyen d'une crémaillère (fig. 3692).

La pâte comprimée dans le cylindre ne peut s'échapper que par une ouverture annulaire qui se trouve dans le fond du cylindre. A l'intérieur, on voit par la coupe (fig. 3693), une sorte de noyau suspendu, solidement fixé sur des traverses métalliques, dont le but est d'arrêter la descente du piston; elles sont élevées à l'intérieur pour que la fissure qu'elles forment ait le temps de se ressouder sur elle-même; le noyau forme avec la couronne qui sert de base au cylindre un espace annulaire qui détermine la section du tuyau de drainage. Il est reçu à sa sortie du cylindre sur une tournette qui descend avec lui, puis coupé de longueur voulue.

J'ai vu dans plusieurs établissements en France une disposition semblable employée pour la confection des tuyaux de cheminées dans le système Gourlier, avec cette seule modification qu'il y a deux cylindres au lieu d'un seul. Ils sont fixés sur un chariot qui glisse sur des rails, et se place de telle sorte que lorsque l'un des cylindres est en travail, l'autre est en charge à droite ou à gauche en dehors de l'action du piston; il n'y a pas de temps perdu, comme dans la première disposition que nous avons décrite.

Le moulage se pratique encore sur les pâtes liquides; on a donné le nom de *coulage* à ce procédé spécial. Nous entrerons ici dans quelques détails au sujet de ce dernier mode de façonnage, surtout à cause de l'extension considérable qu'il a reçue dans la manufacture de Sèvres depuis ces dix dernières années : on s'en est servi dans plusieurs circonstances pour obtenir soit des pièces si minces, qu'il eût été difficile de les obtenir par les procédés du tournage ordinaire, soit des pièces d'une dimension et d'une épaisseur telles, qu'il eût été de toute impossibilité de les mouler ou de les ébaucher au tour. C'est ainsi que des tasses minces comme des coquilles d'œuf et de grandes jattes chinoises ont été faites avec une rare perfection par le procédé du coulage.

Un moule en plâtre *a*, fig. 3695, donne intérieurement la forme que la pièce doit avoir; une ligne tracée sur

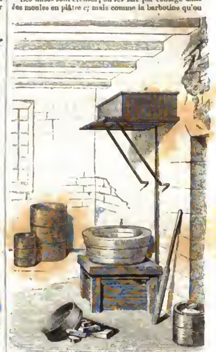


3692.

la partie supérieure donne la hauteur. On l'emplit de barbotine, on verse, après quelques minutes, l'excédant de pâte, puis on la laisse adhérente au moule se ressuyer un peu; on met sur le tour le moule, on le centre, et, avec une lame, on détache sans effort le bord supérieur de la pièce moulée; la dépouille se fait tout naturellement, et pour éviter la déformation, on place sur un renversoir *b* la tasse tirée du moule; la dessiccation s'opère spontanément. Le pied de la tasse se rapporte quand la pièce est faite; on le prend dans un mandrin de pâte ébauché sur le tour, on le colle comme à l'ordinaire, et l'on finit l'ouverture de la tasse en coupant à la hauteur voulue l'excédant indiqué par le trait que donne directement le moule.

3693.

Les anses sont creuses; on les fait par coulage dans des moules en plâtre *c*; mais comme la barbotine qu'on



3694.

verserait dans ces moules ne tarderait pas à boucher l'entrée du creux en s'y fixant, on injecte le liquide à l'aide d'une petite pompe aspirante et foulante *f*. On ajuste à cet effet, sur l'ouverture d'entrée et sur le trou de sortie, deux tubes minces en cuivre *e*, et par l'un de



3695.

ces tubes on chasse avec la pompe assez de barbotine prise dans le vase *d*, pour qu'elle s'élève au niveau su-

périeur du second tube. Si l'anse doit avoir une certaine épaisseur, on répète l'injection, mais en prenant pour orifice d'entrée celle qui servait d'orifice de sortie dans l'expérience précédente ; on opère de la même manière. Si la largeur du canal évidé de l'anse est considérable, on doit avoir le soin de retourner le moule de façon que la face supérieure devienne l'inférieure, afin que toutes les parties aient, autant que possible, la même épaisseur. On évite ainsi, le liquide séjournant les deux fois dans les mêmes parties inférieures, que le fond prenne plus d'épaisseur que les points donnés par la coquille supérieure.

Les soucoupes de tasses minces sont aussi préparées par le coulage; il faut éviter que le flot de barbotine, en arrivant dans le moule, n'éclabousse, et n'occasionne un frémissement qui se traduit sur la pièce cuite par des ondulations. Dans ce but, on dispose sur le moule un faux bord incliné, métallique, sur lequel le jet de barbotine s'aplatissant déverse sans secousse le flot dans l'intérieur du plâtre.

On a pu voir aux Expositions de Londres et de Paris de grandes jattes de forme chinoise de $0^{m},83$ de diamètre. On peut se faire une idée de la manière dont on procède par l'inspection de la fig. 3694.

a représente la bâche qui fournit la barbotine, et *b* le moule percé d'un trou par la partie inférieure : un tuyau qui s'ajuste dans ce trou introduit par le bas la pâte liquide, qui monte graduellement sans bulles ni secousses. Une cuve *c*, placée sous la table qui supporte le moule, reçoit l'excédant de barbotine qu'on soutire au moyen d'un robinet.

S'il n'est pas déjà sans difficulté de couler une pièce de cette dimension, les difficultés s'accroissent encore par la nécessité de boucher le trou qui transperce le fond de la pièce. On s'y prend de la manière suivante : Après avoir nettoyé le moule, c'est-à dire après avoir enlevé avec une lame compacte la partie de pâte qui s'est épanchée sur la surface horizontale qui le termine, et coupé les bavures de l'ouverture pratiquée dans le fond et qu'il s'agit de boucher, on laisse tomber dans le fond du moule, par cette ouverture, un bouchon de plâtre parfaitement sec et bien ajusté, pour qu'il complète la calotte sphérique que présente la partie inférieure du moule. On verse alors de la barbotine très-épaisse qu'on mélange légèrement avec les parties un peu raffermies qui limitent l'ouverture à boucher et qui vient s'y souder d'une manière intime. On donne au fond formé de la sorte une assez grande consistance, et on le finit par un tournassage qui le ramène à une épaisseur convenable. Le pied de la jatte est coulé d'autre part, et sert de support à la pièce pendant la cuisson au grand feu : il reste indépendant; on le réunit par des liens métalliques après toute cuisson. On a remarqué que toutes les fois qu'on voulait coller le pied soit en pâte, soit au moyen de la glaçure, les différences de retraite, occasionnées par la distance des deux centres de contraction de la jatte et du pied nécessairement coulés séparément, entraînaient ou le décollage, si le collage était mal fait, ou la casse lorsque le collage était bien fait.

On a modifié le procédé de coulage d'une manière heureuse pour en obtenir sûrement les plateaux qui complètent les cabarets minces. Au lieu de remplir le moule de pâte liquide, on fait glisser légèrement ce moule dans un bain de barbotine. Le moule se recouvre extérieurement et intérieurement de pâte raffermie d'une épaisseur en rapport avec le temps de l'immersion, l'épaisseur du moule et la viscosité du bain. On nettoie le moule au dehors; on enlève avec un couteau la pâte adhérente sur la face horizontale, en même temps qu'avec une pointe on détache légèrement, pour faciliter la dépouille, le faux bord du plateau. On examine attentivement s'il ne se fait pas quelques fissures pendant la dessiccation et la retraite qui l'accompagne, et on arrête par un trait de pointe et en travers toutes celles qui se déclarent tant qu'elles restent sur le champ du faux bord. Ce plateau n'a pas de pied.

On combine souvent les deux méthodes du moulage et du tournage pour obtenir dans une même opération des ébauches plus fines et de meilleure réussite.

Dans le *moulage à la housse*, on fait une ébauche sur le tour sans secours d'appui ou de moule ; on la termine par le moulage. Tantôt, suivant le cas, on place la *housse* sur le moule, qui a la forme d'un noyau et qui peut donner directement des dessins à l'intérieur. Le moule est placé sur un tour. Le tourneur comprime avec une éponge la housse contre le moule ; tantôt on la met à l'intérieur du moule, dont la forme est creuse, et qui peut donner alors directement les reliefs dont la surface extérieure est ornée.

La housse peut être simplement une balle, lorsque le moule est creux ; c'est ainsi que pour mouler mécaniquement un grand nombre de pièces dites de petit creux, on se borne à placer dans le moule, animé d'un mouvement circulaire qu'il tient du tour, une balle de pâte qu'on fait monter en la perçant avec les doigts le long des parois du moule. On modifie cette méthode en faisant descendre dans le creux une sorte de noyau qui remplace les doigts. Cette méthode est appelée sans contredit à modifier notablement le prix de revient des pièces de porcelaine.

On donne le nom de *calibrage* au procédé mixte résultant de la combinaison du moulage et du tournage dans lequel le moule donnant la forme intérieure ou extérieure de la pièce, la surface extérieure ou intérieure est donnée par le tournage avec l'aide d'un profil fixé d'une manière invariable. On obtient, au moyen du calibrage, des pièces d'une régularité, d'une minceur, et partant, d'une légèreté remarquables ; on ne fait pas autrement à Sèvres les assiettes de toute dimension, unies ou à reliefs.

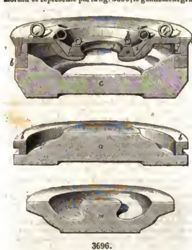
Pour ces derniers objets, il convient d'apporter le plus grand soin à la confection des moules. A ce titre, nous relaterons ici le procédé proposé par M. Hubert Moreau de Mehun, pour obtenir des mères d'une exécution irréprochable, seules capables de reproduire les moules dont on a besoin pour la fabrication des assiettes. Le travail de l'auteur a reçu de la Société d'encouragement l'accueil le plus favorable, et le rapport que j'ai fait peut trouver ici, en substance au moins, une place convenable. Les considérations suivantes nous paraissent de nature à faire comprendre les avantages de ce système, tant au point de vue de l'économie, qu'à celui de la régularité, de la perfection et de la rapidité du travail.

La fabrication de l'assiette nécessite l'établissement du modèle, qu'on enduit d'une couche d'huile siccative ; il donne l'intérieur de l'assiette ; sur ce modèle on coule un plâtre qui prend le nom de *mère;* on le durcit aussi par l'huile siccative ; c'est sur cette mère qu'on coule ensuite les moules en plâtre sur lesquels on moule les croûtes. Ces procédés sont ceux qu'on pratique généralement et depuis longtemps dans toutes les manufactures de porcelaine. Ils entraînent certains inconvénients qui ne peuvent être évités par la plus scrupuleuse attention, car ils sont inhérents au plâtre. On sait, en effet, que pendant qu'il fait prise, le plâtre augmente de volume; or, l'expérience a démontré que, après vingt tirages dérivés l'un de l'autre, la dernière épreuve d'un modèle de 25 centimètres en présente 27.

Indépendamment de cet inconvénient qui conduit à l'altération du volume des objets, et quelquefois aussi de leur forme, on est exposé, par le gauche que peuvent prendre les moules, à fabriquer des assiettes plus défectueuses encore que le moule lui-même. Enfin la nécessité de faire par le tournassage la poignée des

moules fait perdre, sous forme de copeaux inutiles, une quantité considérable de plâtre.

Dans la disposition du moule proposé par M. Hubert Moreau et représenté par la fig. 3696, le gonflement gra-



3696.

duel du plâtre, qui dénature les dimensions de l'objet moulé, n'est possible en aucune façon ; le diamètre des assiettes, par exemple, ne peut plus augmenter ; la durée des mères est prolongée dans une proportion notable. On évite le gauche des moules, et comme le moulage de ceux-ci s'obtient immédiatement et d'une seule opération, on n'a plus à faire disparaître par le tournassage ni l'extérieur du moule pour le dresser, ni l'intérieur pour former la poignée.

Supposons qu'on ait une mère en plâtre durci par de l'huile grasse *c*, et donnant la forme intérieure de l'assiette : on la surmonte d'une couronne en zinc d'une seule pièce *b*, dont l'usage est de faire obstacle au gonflement du plâtre à l'instant de la coulée ; ce cercle est adhérent : on le surmonte d'une nouvelle couronne en trois pièces *d*, qui servent à régler la hauteur et le diamètre du moule. Ces trois parties sont réunies dans une chape *a*, qui s'emboîte dans le cercle adhérent à la mère ; les autres parties du moule, la base, la poignée, l'évidement que forme celle-ci sont données par des pièces en zinc et leur chape *f*, *g*, *h*, *i*, qu'il est facile de séparer pour opérer le démoulage. Le maniement de ces diverses pièces est facilité par des anneaux métalliques. Une ouverture centrale *j* permet l'introduction du plâtre liquide.

Pour opérer le moulage, on enlève les parties supérieures qui mettent à jour le fond du moule ; on les a graissées, et avec un pinceau on imbibe le tout d'une couche de plâtre liquide pour former l'épiderme du moule ; on rapporte ensuite l'espèce de couvercle sur lequel doit se mouler la face supérieure, et on verse le plâtre liquide pour remplir le moule ; l'air se dégage par quatre trous, et l'expulsion du gaz se fait entièrement lorsqu'on a soin d'agiter le moule aussitôt qu'on l'a rempli.

Lorsqu'on a dégagé les parties du moule extérieur, on enlève la partie moulée ; pour la terminer, on détruit, sur le tour, les coutures qu'ont laissées les joints correspondants aux diverses parties du moule métallique. Ce travail s'exécute facilement au moyen du tournassin. La pièce isolée se voit en *m*, débarrassée de son moule. Ce que nous avons dit suppose la confection de la mère. Pour l'obtenir, après avoir graissé le modèle *a* comme à l'ordinaire, on le garnit d'un cercle *b* qu'on dresse au moyen du tour ; on entoure le diamètre extérieur d'une bande de plomb, puis on verse du plâtre. Quand il est assez dur, on le tournasse.

Ce procédé doit s'appliquer aux pièces plates avec plus d'avantage qu'aux pièces creuses ; néanmoins, dans tous les cas, il doit donner une économie notable aux manufacturiers qui font un grand usage de moules de plâtre et qui sont éloignés de gisements de gypse.

J'ai vu pratiquer ce moyen dans l'usine de Mehun, chez M. Pilliwuyt. A Bordeaux, si le même moyen n'est pas employé, celui dont on se sert en donnerait bien une idée, même à première vue.

Que les pièces soient moulées ou tournées, qu'elles soient ébauchées par l'une ou l'autre des méthodes mixtes que nous venons d'étudier, il faut les finir. Le tournassage ne s'applique guère qu'à certaines fabrications soignées ; en un mot, il consiste dans un tournassage qui rappelle, quant au principe, le travail du tourneur en bois, en métaux, etc. On enlève l'excédant de pâte présenté par l'ébauche, qu'il ne faut dès lors considérer que comme un bloc dans lequel on va chercher la pièce qu'on veut obtenir. Le tour a tantôt l'axe vertical, comme dans la fabrication de la porcelaine, tantôt l'axe horizontal, comme dans les fabriques de faïences fines. Contrairement à ce qu'on avait supposé pendant trop longtemps, le tour en l'air peut également convenir pour le tournassage des porcelaines dures, et j'ai vu dans beaucoup d'usines du centre le tour français remplacé par le tour anglais pour le rachevage des pièces de petits creux en pâte de porcelaine ; on gagne de la sorte en temps et en régularité.

Le fait le plus considérable qui s'est produit dans ces dernières années, relativement au rachevage en ce qui concerne la porcelaine dure, est l'usage qu'on a fait du tour à guillocher ; nous ne saurions, sous peine de donner trop de longueur à cet article, en faire ici la description ; nous renverrons le lecteur à la définition que j'en expose dans mes *Leçons de céramique*, t. II, p. 130 et suivantes.

Le réparage des pièces comprend des opérations qui se définissent nettement par le nom qu'on leur donne : ce sont le *grattage*, pour enlever par ablation toutes les coutures, toutes les saillies nécessaires à l'ébauchage ; le *remplissage*, pour boucher les trous, les cloques accidentelles mises à nu par le démoulage ou par le grattage. Le *sculptage*, qui ne diffère du grattage que par les différents résultats obtenus, participe à la fois des méthodes de grattage et de remplissage ; nous en trouvons un exemple remarquable dans ce que l'on appelle à Sèvres *sculpture en pâte, cru sur cru*. On a fait, à l'aide de cette méthode, des pièces de dimensions très-variées. Elle donne des objets d'une valeur artistique réelle et d'une grande importance industrielle, si celui qui la met en usage joint au talent du sculpteur l'habileté du praticien.

La première idée de ce genre de décoration se trouve très-nettement dévoilée dans quelques poteries fines de l'époque romaine ; les Chinois en ont certainement tiré le parti le plus avantageux, et le musée céramique offre des exemples fort remarquables fournis par les peuples qui ont créé cette sorte de poterie.

On établit par l'un quelconque des procédés décrits précédemment la pièce que l'on veut décorer d'ornements en relief. On maintient la pâte humide pour appliquer en relief au pinceau avec précaution et par couches successives, en évitant les bouillons et les trous, la pâte qu'on peut modeler ensuite par incision

et grattage, comme s'il s'agissait d'une ébauche moulée; on obtient de la sorte des saillies assez vives, très-nettes, si le réparage est fait avec tout le soin nécessaire. Cette méthode permet de conserver religieusement la touche du sculpteur, si souvent altérée par les opérations du moulage. Elle ajoute encore à la valeur artistique de la pièce faite par ce moyen le mérite de constituer en quelque sorte un objet unique, puisqu'il n'a pas été confectionné dans le but de multiplier les épreuves. Le même motif, encadré différemment, ajusté dans d'autres données, peut présenter, sans frais de composition la plus grande variété d'aspects. Par le moulage, au contraire, pratiqué comme on est dans l'usage de le faire, on n'obtient qu'une reproduction fâcheuse pour des objets d'art.

Lorsqu'on fait usage de pâtes de diverses couleurs, on peut produire les effets les plus heureux, et les plus belles productions en ce genre qu'ait offertes la manufacture de Sèvres sont les vases dits céladon, rehaussés de sculptures en pâte blanche. Au lieu des pâtes vert d'eau, on peut faire un fond de toute autre nuance, et créer de la sorte des poteries très-variées et du meilleur goût. L'industrie privée n'aurait assurément qu'à gagner en entrant dans cette voie nouvelle ouverte par la manufacture impériale. Les pâtes colorées par la pechblende, l'oxyde d'urane et d'autres oxydes conduiraient infailliblement à des pièces recherchées. L'oxyde de chrome sous le poids de 3 à 4 pour 100 donne avec la pâte de service une couleur olivâtre avec une nuance de rose qui acquiert à la lumière artificielle une couleur rose du plus vif éclat.

Nous n'aurons pas l'occasion de revenir plus tard sur ce sujet. Pour l'épuiser, nous signalerons ici quelques accidents que peuvent présenter les pâtes céladon, et les moyens d'y obvier. Quelque soin qu'on ait pris pour enlever le sel soluble de chrome que l'oxyde mêlé dans la pâte blanche emporte avec lui, lorsque, pour une cause ou pour une autre, le four se charge pendant la cuisson d'une grande quantité d'humidité, il se développe et se répand, sur les reliefs blancs ou sur certaines parties de la pièce, un sel soluble de chrome qui dépose plus tard de l'oxyde vert ou brun. La pâte céladon cuit généralement avec un ton plus agréable dans une atmosphère réductrice que dans une atmosphère oxydante; on vient de voir que, dans tous les cas, pour obtenir des nuances unies, il est indispensable de cuire dans une atmosphère dépouillée d'humidité.

L'*évidage*, qui consiste à faire des jours dans les parois des pièces suivant des traits indiqués par le moule, l'estampage et le moletage, le collage et l'applicage, qui consistent dans la réunion des garnitures ou des différentes parties d'une même pièce, complètent la série des opérations au moyen desquelles les poteries sont mises en état de supporter l'action du feu qui doit leur donner consistance et dureté, imperméabilité ou brillant. Il n'y a plus, pour ne pas perdre le bénéfice des mains-d'œuvre déjà faites, qu'à conserver à la pièce sa forme intacte, sans fente ni déformation, par une dessiccation très-lente. A cet effet, les poteries, qu'elles soient simples ou composées, doivent être placées dans des séchoirs convenablement aménagés, sur des planches superposées, exposées à des températures progressives.

L'établissement de ces séchoirs laisse encore beaucoup à désirer dans un grand nombre d'usines. On profite souvent des jours de soleil pour exposer au dehors les marchandises prêtes à porter au four. Il faut veiller au temps, et s'il vient à pleuvoir subitement, la rentrée brusque de toutes les pièces, rentrée qui ne peut être exécutée que par le plus grand nombre de bras, met la perturbation dans tous les ateliers. Ce système d'ailleurs ne dispense pas, pendant l'hiver, de séchoirs artificiels; et c'est peut être cette partie de la fabrication qui devrait devenir le sujet des plus sérieuses études.

Le chauffage des ateliers, dans lesquels on place les moules et marchandises terminées pour les sécher, a lieu presque partout au moyen de poêles disposés au centre de la pièce, et dont les longs tuyaux servent de surface de chauffe. Mais il ne suffit pas d'élever la température, il faut chasser, au moyen d'une ventilation bien réglée, la vapeur d'eau qui se répand dans l'atmosphère. Ordinairement le chauffage est intérieur, et la présence dans l'atelier d'appareils à feu répandant des poussières n'est pas sans inconvénients pour les poteries, d'ailleurs irrégulièrement échauffées.

Toute disposition qui permettrait d'employer au séchage des pièces fabriquées la chaleur perdue des fours de cuisson remédierait à beaucoup d'embarras, et deviendrait économique au point de vue du combustible, tout aussi bien qu'à celui de la perfection du travail.

Je donne ici celle que les manufacturiers anglais emploient aujourd'hui. La description peut être suffisamment comprise, sans qu'on ait besoin de recourir à des dessins représentant les appareils.

Deux fours accolés sont placés près d'une cheminée commune; les fours, dont le laboratoire forme un cône surmonté d'une calotte sphérique, sont séparés par une galerie qui donne accès, d'une face à l'autre, à deux chambres où se tiennent les cuiseurs; les alandiers, au nombre de six par chaque four, trois de chaque côté, sont placés immédiatement au-dessous du volume des marchandises à cuire. Les produits de la combustion s'élèvent au travers d'arcadons dont la surface supérieure forme le sol du four; ils traversent les matériaux qu'ils doivent porter à la température rouge, et s'échappent ensuite par une ouverture qui existe dans la calotte sphérique limitant le laboratoire dans sa partie supérieure. Les fours n'ont donc pas de cheminée comme les fours ordinaires. Un canal horizontal, qui se recourbe pour passer dans les ateliers dits séchoirs, conduit ces gaz chargés de fumées épaisses, et portant encore une température élevée dans des tuyaux circulant dans l'atelier, de manière à maintenir l'atmosphère à 30 ou 40 degrés centigrades. La vapeur d'eau produite par la dessiccation des matériaux encore humides est conduite, au moyen d'ouvertures communiquant avec le canal qui dirige les fumées et les gaz chauds, dans la cheminée d'appel.

En sortant des séchoirs qu'ils ont échauffés sans dépense nouvelle, les gaz et les fumées reviennent dans la partie inférieure du four, se partagent en deux courants qui circulent entre les trois rangées de fourneaux; là, rencontrant les plaques de fonte portées au rouge, qui forment les parois latérales du foyer, ils se brûlent en dégageant une chaleur assez intense pour déterminer un tirage très-violent dans la cheminée verticale dont la hauteur règle l'appel de l'air froid sur les grilles des alandiers chargés de charbon de terre.

Avec deux systèmes de fours accolés, placés chacun à l'extrémité des séchoirs, on pourrait chauffer d'une manière continue; car on peut toujours avoir un four en feu, pendant qu'on en emplit un ou qu'on vide les deux autres; on a de la sorte toute facilité pour cuire un four tous les trois jours. Différentes espèces de registres permettent d'interrompre à volonté la communication des conduits d'un four avec la cheminée d'appel, pour qu'il y ait isolement d'un appareil pendant qu'il ne fonctionne pas, c'est-à-dire pendant qu'on l'emplit ou pendant qu'on le vide.

On voit que cette méthode peut s'appliquer facilement, et qu'un des grands avantages qu'elle présente est de pouvoir s'adapter, sans de grandes dépenses, à des fours déjà construits. Du reste, le procédé de l'au-

teur s'applique à toute espèce de fours en usage dans les fabrications céramiques.

M. Bonnet a fait breveter, en 1845, un four pour les mêmes usages, dans lequel on remarque les dispositions employées en Angleterre. On voit, d'après la faveur avec laquelle les procédés de M. Hand ont été suivis, que cet intéressant problème de la combustion complète de la fumée et du chauffage économique des séchoirs a reçu de l'autre côté du détroit une solution pratique.

CUISSON DES POTERIES.

Quand les poteries, quelles qu'elles soient, ont été séchées convenablement, on les porte au four, pour les cuire lorsque ce sont des poteries simples, pour les préparer à recevoir les glaçures lorsqu'elles sont composées.

Nous n'avons rien à dire, dans cet article, des procédés dont on se sert pour enfourner et encaster les pièces, soit pour les cuire en biscuit ou dégourdi, soit pour les cuire en vernis, que ces vernis soient ou des *émaux*, ou des *vernis* proprement dits, ou des *couvertes*. Nous n'avons même pas à rappeler les méthodes au moyen desquelles on prépare, on broie, on applique ces



3697.

glaçures. Mais avant de nous occuper des combustibles dont on fait usage dans la cuisson, nous dirons qu'en Angleterre on trouve des établissements qui ne font autre chose que de préparer les pernettes, pattes de coq ou colifichets, dont on fait usage pour isoler les pièces dans le four, et les empêcher de se coller entre elles ou sur les pièces qui les supportent dans les étuis. Ces pernettes, de forme toute particulière, s'obtiennent par moulage et sans la moindre difficulté. La figure ci-dessus représente leurs principales dispositions. Le moule est en métal, cuivre ou bronze; il est en deux coquilles; il donne plusieurs exemplaires disposés symétriquement et de telle façon, que les points supérieurs soient donnés par la coquille supérieure du moule, les points inférieurs par la coquille inférieure. On obtient la pression sur la croûte, qu'on a mise entre les deux coquilles, au moyen d'une presse à vis. On chauffe le métal pour obtenir la dépouille nécessaire au démoulage. On prépare ainsi tous les modèles dont on a besoin et que représente la fig. 3697.

On sait qu'on fait emploi de bois et de charbon de terre pour cuire la poterie de terre, la faïence commune et la faïence fine; la cuisson de la porcelaine dure au moyen du combustible végétal était seule regardée comme possible par un grand nombre d'industriels: aussi les expériences qui ont eu pour but la cuisson de la porcelaine dure au moyen de la houille ont-elles fixé très-vivement l'attention générale. On a déjà vu la notice de M. Ebelmen et son savant rapport sur le four de Noirlac à l'article HOUILLE. Nous compléterons ces renseignements intéressants par l'extrait d'un travail consciencieux de M. Redon sur les tentatives suivies de succès exécutées à Limoges pendant l'année 1857. Ces expériences ont été dirigées par la chambre consultative, demandant à s'éclairer sur un fait industriel qui, bien que déjà traité dans d'autres contrées manufacturières, n'en avait pas moins pour le Limousin un grand intérêt de nouveauté d'abord, et un intérêt plus grand encore au point de vue de la production économique et du développement de l'industrie de la porcelaine. Depuis longtemps, la cherté toujours croissante des bois et la crainte de leur insuffisance inquiétaient non-seulement les fabricants, mais encore la population ouvrière, dont l'existence et le bien-être dépendent en grande partie de la prospérité des manufactures de porcelaine.

On doit à M. Marquet, de Limoges, d'avoir été le premier instigateur de la cuisson à la houille par des méthodes perfectionnées que nous allons décrire. Il a fait ses essais d'abord avec le système Bordone, qui consiste dans l'application des grilles à gradins, puis avec celui de M. Monrot, au sujet duquel nous allons entrer dans quelques détails et qui conduit à des données pratiques.



3698.

Les premiers essais de ce dernier système furent faits dans un four de 2 mètres de diamètre cubant de 7 à 8 mètres cubes; la réussite presque complète encouragea les inventeurs, désormais assurés que l'application de leurs appareils aux fours de plus grande dimension se ferait avec plein succès. On les dispose de

suite pour cuire un four de 5m,33 de diamètre. Deux fournées ont été suivies comme expériences pour étudier la marche du four après sa modification. Nous donnons en détail les circonstances dans lesquelles on s'est placé. C'est le meilleur moyen de faire connaître les conditions dans lesquelles on obtiendra de bons résultats. Les procès-verbaux qui suivent pourront ainsi servir d'enseignement utile. Nous commencerons par inscrire la dépense et l'allure du même four avant l'addition de l'appareil pour cuire à la houille.

Le four, précédemment au bois, cubant 92m,250, était muni de six alandiers; la durée moyenne de sa cuisson était de quarante-cinq heures, et sa consommation de 101 stères 47 centistères de bois valant, rendu dans la cage du four, environ 1320 francs.

Par suite de sa transformation, rien n'a été changé dans les profils et la dimension intérieure de ce four; les foyers ou alandiers ont été portés au nombre de dix; les orifices d'entrée de la flamme dans le four, dits bouches à feu, ont été conservés dans les mêmes dimensions qu'au bois; la cheminée de même, et les carneaux de pourtour augmentés de quatre, en tout dix.

L'appareil à combustion, dont la disposition constitue toute la nouveauté, se compose d'une grille horizontale formée de barreaux ordinaires en fonte, espacés de 0,0015. Sa longueur est de 0m,90, et sa largeur de 0m,75, donnent une surface de 0m,6750. Cette grille est munie en son milieu d'une boîte rectangulaire formant trémie, dont le but est d'alimenter la grille par la partie intérieure (fig. 3698).

L'alimentation se fait à l'aide d'un chariot en fonte, ou en forte tôle rivée, contenant environ 3 kilog. de houille, et qui, glissant sur les dans guides en fer, visibles en plan dans la figure ci-dessus, vient se placer directement sous la trémie dans laquelle il est élevé en pesant sur un levier; le combustible, d'abord soutenu au moyen d'une petite grille mobile placée au fond du chariot, qui s'accrochait sous la trémie au moment où l'ascension était accomplie, est, d'après le nouveau système, maintenu par le fond qui monte ou descend à l'aide de la disposition que représente la figure 3699. Dans sa position normale, le chariot en dehors du foyer présente la caisse ouverte et pleine de combustible; la queue de l'appareil fait le fond de la trémie et retient le combustible; pour charger, on pousse le chariot, on appuie sur le levier pour faire monter le fond guidé dans son mouvement ascensionnel par les glissières qui forment les joues latérales de l'appareil, et on ramène le chariot en avant; on ne relève le levier pour faire descendre le fond que lorsque la boîte à combustible est complétement en dehors du foyer. Dans le premier système, à chaque chargement la petite grille devait être retirée.

3699.

Aussitôt que le chariot est engagé sous la trémie, le combustible du foyer se renouvelle par la nouvelle charge qui, s'élevant, soulève constamment devant elle les couches de houille déjà en ignition. L'introduction du combustible se fait ainsi sans ouverture de porte, et, par conséquent, sans admission d'air froid sur le foyer.

Le four ainsi préparé, l'enfournement fait dans les mêmes conditions qu'au bois, on procède à l'allumage. Les grilles sont chargées de 85 kilogrammes de houille; à l'aide d'une ouverture ménagée dans le mur de face du foyer, on introduit du menu bois auquel on met le feu avec un peu de paille. Cela fait, l'orifice d'allumage est bouché et bien luté; le feu gagne rapidement la houille, et, un quart d'heure après, la première charge est élevée dans chaque grille; pendant les deux premières heures, les charges ne sont faites que de douze en douze minutes, et augmentées progressivement jusqu'à douze heures de feu. A cet instant, on commence le grand feu, en chargeant toutes les trois minutes au plus, et en ajoutant à la houille trois bûchettes de bois. La flamme commence alors à se dépouiller de sa fumée, et au bout de six heures de grand feu, c'est-à-dire après dix-huit heures de chauffe, le globe est parfaitement purgé, et la flamme s'élève en gerbes très-pures des carneaux et de la cheminée; à partir de cet instant jusqu'à la fin de l'opération, l'élévation des charges ne donne plus la moindre production de fumée.

Après vingt-deux heures de feu, les montres peuvent être retirées; la glaçure doit être brillante, et généralement après vingt-neuf à trente heures la porcelaine est cuite.

Lorsqu'on a jugé la cuisson suffisante, la dernière charge de houille est remplacée dans le chariot de chaque alandier par deux briques qui achèvent d'élever sur la grille le combustible contenu dans la trémie. Après la cessation des charges, les appareils, contenant alors une couche de houille de 30 à 40 centimètres, ont pu fournir encore de la flamme pendant près de deux heures.

Dans ces fournées, la consommation est ordinairement pour le four des dimensions indiquées :

Houille de Commentry ordinaire . .	7,935 kilog.
Houille de Charleroy.	3,965 —
	11,900 kilog.

Bois en bûchettes, 2 stères 1/2.

Dépense évaluée comme suit :

7,935 kil. houille de Commentry, à 40 fr. 75 c. la tonne	323,35
3,965 — houille de Charleroy, à 64 fr. 75 c.	256,45
2,5 st. bois à 13 fr.	32,50
Total.	612,30

La fournée au bois coûtant 1319,11
il y a pour la fournée au charbon de terre une économie de 706 fr. 81 c.

Si nous prenons le rapport de la capacité du four au combustible brûlé, on trouve 129 kilog. par mètre cube. Ces chiffres donnent la mesure de l'économie qui résulte de l'emploi du système Mourot. En s'en rapportant aux documents recueillis sur le terrain de l'expérience, le Berry brûle en moyenne dans des fours de 100 mètres cubes 210 à 220 hectolitres de houille de Commentry, c'est-à-dire de 180 à 190 kilog. par mètre cube.

Quant à la marche et à la conduite des appareils dans le nouveau système, l'élévation des charges se fait avec rapidité, le travail du chauffeur est commode et peu fatigant; il était cependant quelque peu gêné par la chute des escarbilles qui dérangeaient le jeu des organes du petit mécanisme au moyen duquel on soutenait la grille mobile dans l'appareil primitif; la chaleur rayonnée se trouve être si faible qu'elle n'élève pas sensiblement la température de la cage du four. Les grilles restent, après les feux, dans un parfait état de conservation.

Depuis que M. Marquet a donné le mouvement dans Limoges, le système Mourot a reçu de nouvelles applications : il devait en être ainsi; car il représente un perfectionnement notable sur les premières méthodes dans lesquelles on s'était contenté de remplacer l'alandier au bois par une grille pour recevoir le combustible minéral. On compte aujourd'hui plus de dix fabricants qui l'ont adopté dans leurs manufactures. Je tiens ces renseignements de M. Marquet, qui a bien voulu m'admettre dans l'usine, et chez lequel j'ai vu pratiquer cette méthode dont les avantages ne sont plus douteux.

On sait que la manufacture de Bordeaux fait aujourd'hui des quantités considérables de porcelaine dure; cette fabrication n'y eût pas été possible, si M. Vieillard n'avait appliqué l'un des premiers la cuisson à la houille dans une localité complétement privée de combustible végétal.

J'ai visité plusieurs fois cette belle manufacture, et ce n'est pas sans étonnement qu'on y voit des fours d'une dimension si considérable cuits avec un combustible auquel on reprochait tout d'abord de ne pas donner de flamme.

Une dimension plus grande encore des fours ne serait pas un obstacle à la régularité de la chauffe : M. Gosse a fait breveter une disposition qui, par un foyer spécial, déverse au centre du four les quantités de chaleur qui n'y arriveraient pas par les seuls foyers de la circonférence.

Le système fonctionne économiquement dans l'usine de Bayeux, où je l'ai vu mettre en pratique. Si les renseignements qui me sont parvenus sont exacts, il est probable que plusieurs fabriques d'Allemagne l'ont également adopté.

FABRICATIONS SPÉCIALES.

Nous terminerons cet article, qui comble quelques lacunes présentées par celui du Dictionnaire, en décrivant trois produits céramiques nouveaux dont l'immense succès à leur apparition n'est que parfaitement mérité. Je veux parler de la confection du parian, de celle des boutons en pâte feldspathique par les procédés ingénieux de M. Bapterosses et des carreaux incrustés que M. Minton a fabriqués en Angleterre sous le nom d'*encaustics tiles*.

Les Expositions de Londres et de Paris ont de suite classé ces produits parmi les plus intéressants.

Parian ou Paros.

Le parian ou porcelaine imitant le paros est d'origine anglaise; il paraît avoir été fait pour la première fois par M. Copeland vers 1848; quelques auteurs en attribuent la découverte à M. Battam, d'autres à M. Minton : des discussions ouvertes à ce sujet, il nous a paru que M. Copeland était le fabricant qui l'avait préparé le premier. On en a tiré dès le principe un parti très-avantageux pour les objets de sculpture. Plusieurs fabricants anglais et français le font maintenant avec succès.

L'idée d'une pâte céramique imitant le paros n'est pas nouvelle; il existe, parmi les produits de M. Kühn de Meissen, des médaillons d'une composition particulière se rapprochant assez du ton des calcaires exploités comme marbre dans l'antiquité. On trouve de même, parmi les figurines fabriquées à Nympbembourg, de petites statuettes présentant avec le marbre statuaire beaucoup d'analogie; ces productions tiennent, par leur composition, de la porcelaine dure. Le parian présente des avantages réels sur le biscuit de cette porcelaine; la teinte est plus jaunâtre, moins froide, plus analogue à celle du marbre des antiques. Elle est aussi plus fusible, et prend par l'action du feu, sans secours d'aucun vernis, un glacé bien plus flatteur que celui des biscuits de porcelaine. Cette qualité rend cette pâte propre surtout à la reproduction des objets d'art.

La composition de cette pâte est assez variable; la coloration s'obtient sans addition de matières colorantes; elle est simplement due à la quantité de l'oxyde de fer accidentellement et naturellement contenu dans les matériaux qui fournissent les éléments; elle tient aussi, soit à la température qui n'est pas assez forte pour réduire tout le fer à l'état de silicate de protoxyde, soit à la séparation du peroxyde pendant le refroidissement. Dans tous les cas, les fours à faïence fine paraissent satisfaire à toutes les conditions convenables au développement de cette teinte et comme température et comme composition d'atmosphère gazeuse.

La pâte est peu plastique; elle se rapproche par sa nature de la pâte de porcelaine tendre anglaise; elle prend 30 p. 100 de retraite, et ne se façonne avec facilité que par le procédé de coulage. Cependant elle peut être moulée; le façonnage au moyen du tour ne lui serait appliqué qu'avec les plus grandes difficultés. Elle cuit en une seule fois dans le four à faïence fine, mais elle peut recevoir une glaçure plombifère dure et brillante, et s'appliquer de la sorte aux articles de consommation ménagère. Dans le Staffordshire, on cuit à plusieurs feux de biscuit, jusqu'à ce que le ton ait acquis la nuance jaunâtre qui plaît au consommateur.

L'Exposition de Londres, en mettant sous les yeux des fabricants français les produits remarquables de la fabrication si variée de M. Minton, a stimulé le zèle de plusieurs manufacturiers; Creil, Bordeaux, Sarreguemines et Choisy-le-Roi font aujourd'hui cette poterie d'une manière remarquable.

J'ai fait une pâte qui donne de bons résultats, et je la donne ici comme exemple autour duquel peuvent osciller les compositions de ces diverses fabriques :

Feldspath cristallisé de Bayonne . . .	100
Kaolin lavé.	40
Argile de Dreux	40

On fait cuire au feu de porcelaine tendre. L'argile de Dreux et le feldspath de Bayonne peuvent être remplacés par des matériaux analogues. La proportion de kaolin peut être diminuée si le ton n'est pas assez jaunâtre et si la fusibilité n'est pas assez considérable; on augmente, pour obtenir la coloration, le dosage de l'argile, qui doit être plastique.

Boutons en pâte feldspathique.

S'il est une fabrication qui puisse donner une idée de l'avantage des procédés mécaniques appliqués à la cé-

ramique, c'est assurément celle des boutons en pâte feldspathique : il est vrai que la petite dimension des objets fabriqués se prêtait à merveille à leur façonnage par la voie des machines.

La fabrication des boutons en pâte céramique se rapprocherait de l'art de la vitrification si les procédés de leur façonnage avaient le moindre rapport avec ceux employés par le verrier. La nature de la masse fondue est plutôt vitreuse, et la composition de la pâte ne renferme aucun élément plastique soit à froid, soit à chaud. Mais les procédés employés pour façonner ces boutons, l'introduction du phosphate de chaux dans la préparation, les méthodes de cuisson appliquées à leur cuite soit en blanc, soit en couleur, ont tant d'analogie avec les moyens correspondants employés par le potier de terre, que ces boutons ont reçu dans le commerce le nom de boutons en pâte céramique. Créée en Angleterre par Potter, cette fabrication a été reprise, il y a vingt ans, par M. Prosser, qui substitua la pâte de porcelaine tendre à celle de porcelaine dure, et qui modifia complétement les procédés de fabrication. Les brevets furent exploités simultanément par deux manufactures, celle de M. Minton et celle de M. Chamberlain, de Worcester.

En France, la fabrication des boutons est pratiquée sur une très-grande échelle; dans la manufacture de Creil, on suit à peu près les méthodes anglaises. A Briare, où M. Bapterosses a transporté son établissement de la rue de la Muette, on travaille suivant le procédé dont il est l'inventeur et que nous avons décrit à l'article BOUTONS de ce Dictionnaire, t. I. Nous indiquerons ici seulement quelques données numériques qui complètent notre premier travail.

Pour préparer la pâte dite agate, on ajoute à 2,000 kilogrammes de pâte feldspathique légèrement humide, puisqu'à la dernière dessiccation ils se réduisent à 1,930 kilogrammes, 125 kilogrammes de phosphate de chaux. On emploie, pour débarrasser cette quantité de feldspath de l'oxyde de fer qu'elle contient, 140 kilogrammes d'acide sulfurique. Ce passage à l'acide est nécessaire pour obtenir une pâte qui cuise blanc ; nous avons vu qu'il fallait attribuer à l'oxyde de fer la cause de la coloration des pâtes de porcelaine quand elles cuisent dans une atmosphère oxydante; c'est ici le cas d'enlever jusqu'aux dernières traces d'oxyde de fer.

Une petite quantité de lait est introduite dans la pâte, quelle que soit sa nature, pour la rendre facile à mouler. On ajoute pour la quantité de pâte indiquée plus haut 45 litres de lait. Dans la manufacture de Creil, on se sert d'huile de lin au lieu de lait. Ce mélange empêche la rouille des machines ; le fer et le cuivre peuvent être employés dans la confection des presses.

Une presse marche souvent deux heures sans réparation des picots, poinçons, etc. Dans l'origine, chaque presse donnait 350 boutons n° 1 : c'étaient les plus petits ; on en faisait 3,520 avec chaque kilogramme de pâte ; les frappeurs étaient payés à la journée, à raison de 3f,25 par journée de dix heures.

En sortant de la presse, les boutons viennent se ranger d'eux-mêmes sur une feuille de papier maintenue dans un fer rectangulaire, d'où, par un tour de main très-simple, ils se trouvent placés sur la plaque de terre qui doit les supporter dans le four.

La cuisson se paye aux ouvriers chargés de ce travail à raison du poids de boutons cuits : dans le principe, lorsque l'établissement était à Paris, rue de la Muette, on payait 36 francs les 100 kilog. de boutons strass ou transparents, et 32 francs les 100 kilog. de boutons agate.

Si l'on n'avait la précaution d'enlever par des lavages acides l'oxyde de fer contenu dans la pâte, les boutons cuiraient jaune ou rougeâtre ; ils sont d'un blanc parfait quand on enlève les dernières traces de cet oxyde.

Un même ouvrier chargé de la surveillance d'une même rangée de moufles travaille pendant douze heures consécutives.

La manœuvre des plaques est facilitée par la *tournette* : c'est une plaque métallique à deux rebords verticaux de la largeur des plaques de terre qu'elle doit recevoir, fixée horizontalement sur un axe vertical qui peut recevoir un mouvement de rotation.

Les boutons cuits sont reçus dans des espèces de caisses à claire-voie, disposées par juxtaposition, de manière à tourner autour d'un axe vertical, ce qui leur permet de se présenter tour à tour devant l'ouvrier se préparant à vider sa plaque de terre incandescente et chargée de boutons cuits.

Une plate-forme fixe est solidement rivée sur la caisse commune qui doit réunir après leur refroidissement les boutons provenant d'une série de cuissons successives ; chacune des caisses à claire-voie a son fond mobile autour d'une arête qui fait charnière. Il suffit d'appuyer sur de petites tiges attachées à ce fond pour le faire descendre ; les boutons tombent dans la caisse commune, et lorsque la pression ne s'exerce plus, des ressorts à boudin ramènent le fond dans sa position primitive et ferment les caisses. Le refroidissement a lieu pendant que les caisses font leur circonvolution autour de l'axe. On les vide quand elles se présentent devant la plate-forme fixe sur laquelle on place la plaque incandescente.

En introduisant dans la pâte des boutons différents oxydes métalliques, on obtient des boutons teints dans la masse ; ces pâtes colorées se cuisent exactement comme si les boutons étaient en pâte blanche.

Les boutons blancs ou colorés dans la masse sont triés et livrés à l'encartage, mais ils peuvent être dorés ou peints des couleurs très-variées que fournit la palette du peintre en porcelaine. La dorure et la peinture se font au moyen de l'impression. Des cylindres d'acier gravés permettent d'obtenir le transport de la couleur sur un papier sans fin. L'impression s'exécute par des moyens très-économiques sur des boutons collés préalablement sur une feuille de papier, et la cuisson s'opère dans des fours analogues à ceux qui servent à cuire les boutons blancs, c'est-à-dire à feu continu, à simple vue et très-rapidement.

La dorure appliquée par ces moyens deviendrait dispendieuse ; on l'emploie volontiers pour faire des filets sur le bouton. Il doit alors recevoir du brunissage un éclat qui le complète. Les boutons à brunir sont placés circulairement sur une plate-forme qui est mobile sur son axe et les présente tour à tour devant l'outil brunisseur. Indépendamment de ce mouvement, chaque bouton est porté par un pivot qui le fait tourner sur lui-même pour en présenter tous les points à l'action du brunissoir.

L'encartage se fait sur des cartes piquées à la machine ; l'encartage proprement dit est la seule opération qui ne se fasse pas mécaniquement ; aussi coûtait-il d'abord 48 à 50 centimes par masse, c'est-à-dire en moyenne les 0,30 du prix de la masse des boutons blancs. Cette façon ne coûte plus que 10 ou 15 centimes par masse.

Les moyens perfectionnés par M. Bapterosses, et la concurrence qui se maintient entre ses produits et ceux des manufactures où les procédés anglais sont en usage, ont amené sur les prix de vente une baisse considérable. L'accroissement de la consommation a dû s'en ressentir. Les prix se sont abaissés de 8 francs, la masse encartée (prix de 1848) à 1 fr. 75 c. et même 1 fr. 25 c. La fabrication de M. Bapterosses atteint aujourd'hui de 800 à 1,000 masses par jour, y compris 150 masses de boutons imprimés, ces derniers au prix moyen de 1 francs la masse.

On fera remarquer ici ce résultat des plus honorables pour l'industrie française : la fabrication des boutons a cessé complètement aujourd'hui dans la Grande-Bretagne, et les cessionnaires du brevet Prosser achètent maintenant en France les boutons qu'ils vendent en Angleterre.

En présence de ces faits, plusieurs fabriques spéciales ont tenté de s'établir à Paris et dans quelques contrées voisines ; à Paris les tentatives ont échoué ; elles n'ont pas réussi davantage en Espagne ; mais il paraît que l'Allemagne et le duché de Bade possèdent des manufactures de ce genre en état de grande prospérité.

Carreaux incrustés.

Il n'y a guère qu'une centaine d'années que l'attention s'est portée sur ces anciens carreaux incrustés qu'on retrouve employés au pavage des vieilles églises. On y remarque de nombreuses inscriptions qui se composent d'armoiries, de devises, de monogrammes. Il résulte de découvertes faites en Angleterre que la terre argileuse qui servait à faire ces carreaux était



3700.

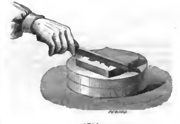
moulée et séchée au soleil assez fortement pour conserver l'empreinte du moule en relief à l'aide duquel on imprimait un dessin quelconque à sa surface. Sur ce dessin en creux, on appliquait une terre d'une couleur différente, ordinairement de la terre de pipe blanche ou colorée. Puis on enfournait. Une fois les carreaux dans le four, on les saupoudrait d'une couche mince de minerai de plomb en poudre et de sable blanc bien fin ; on obtenait ainsi par l'action du feu un vernis vitreux qui, ajoutant à leur éclat tout en les empêchant de s'altérer, donnait à l'argile blanche une légère teinte jaunâtre. On nomma *encaustiques (encaustic tiles)* ces divers produits.

Un M. Wright, des poteries du Staffordshire, fit de nombreux essais pour faire revivre ces procédés anciens; mais ce fut M. Herbert Minton, propriétaire du brevet de Wright, qui triompha de tous les obstacles, et parvint à fabriquer des produits bien supérieurs et plus variés que ceux d'autrefois. A la série restreinte des couleurs obtenues par les potiers du moyen âge, il ajouta celles du café au lait, du gris, du noir, du fauve, obtenues dans toute la masse, et celles du bleu, du vert, du lilas et du pourpre placées par engobes minces sur la surface et par voie d'incrustation.

Les terres rouges et jaunes, qui font à Stoke-upon-Trent la base de la fabrication, sont extraites du sol même de l'usine. On emploie pour les autres couleurs des oxydes métalliques, de ceux que nous avons indiqués à l'article DÉCORATION pour préparer les engobes. On compense les retraits que prennent les diverses matières premières pendant la cuisson par des additions de pegmatite ou de kaolin de Cornwall, ou de silex de Kent; les dosages ont une très-grande importance.

Après que les pâtes ont été broyées et ressuyées au point d'être à l'état de barbotine, on les tamise, surtout pour celles qui sont destinées à donner les parties incrustées. La pâte est ensuite raffermie; on l'amène à consistance pâteuse. Un plâtre préparé d'avance et donnant le relief du dessin qu'offrira le carreau est disposé dans un moule métallique, dont les dimensions sont calculées en vue du retrait qui se produira pendant la fabrication. Ce moule, pour une surface carrée de 38 centimètres doit en avoir une de 42.

On fait avec de l'argile de première qualité la surface du carreau, on lui donne une épaisseur d'un peu plus de 6 millimètres, et on la presse sur le plâtre qui laisse en creux une empreinte du dessin. On surcharge cette première couche d'une seconde plus commune, puis d'une troisième, jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'épaisseur qu'on veut obtenir. On alterne les qualités de terre de telle sorte qu'en diminuant la dépense on évite les irrégularités de retraite. Quand on a placé la dernière couche, on donne un fort coup de presse, afin d'obtenir une compacité suffisante; après quoi l'on coule dans les creux du dessin les couleurs convena-



3701.

bles à l'état de pâtes liquides, de telle sorte que la surface du carreau soit entièrement recouverte. On attend deux ou trois jours, puis on racle la surface du carreau pour enlever toutes les inégalités; cette opération fait apparaître le dessin, qui ne reçoit sa couleur propre que pendant la cuisson. On a représenté fig. 3700 et 3701 ces deux temps de la fabrication.

Les carreaux ainsi préparés vont au séchoir; ils y restent dix ou quinze jours pour ne pas gercer. La cuisson dure soixante heures. La combinaison des oxydes se fait avec les pâtes, et les couleurs apparaissent avec les nuances qui leur sont propres. Si le carreau doit recevoir une glaçure, on le trempe dans un vernis spécial, puis on le fait cuire de nouveau dans un four convenablement disposé.

Les dessins bleus et verts sont obtenus par l'addition à la pâte de porcelaine des oxydes de chrome et de cobalt, auxquels on ajoute une certaine quantité d'oxyde de zinc. Ces couleurs sont coûteuses.

L'application des couleurs aux carreaux devient fort chère encore, à cause de la nécessité dans laquelle on se trouve d'affecter aux produits à cuire un laboratoire d'une grande étendue, chaque carreau devant être protégé sur sa face ornée par une brique commune et sans aucune valeur.

Il se fait pendant la cuisson un transport par volatilisation des oxydes les uns sur les autres. Lorsqu'on ne veut avoir sur les carreaux qu'une glaçure très-mince, les parois internes des gazettes sont recouvertes de vernis volatils, d'abord pour éviter le ressui du carreau, puis pour remplir l'étui d'une vapeur saline, qui se transporte sur l'objet à cuire et lui communique un glacé suffisant.

En Angleterre, les argiles du Staffordshire et de Broseley sont réputées les seules propres à fournir une belle couleur rouge, qui se conserve même sous la glaçure; elles sont employées presque exclusivement pour les carreaux encaustiques; M. Minton, en mettant en lumière cette précieuse qualité des terres du Staffordshire, s'est assuré pour longtemps une grande supériorité dans ce genre de fabrication, et ses concurrents ont jugé convenable de s'établir sur les carrières mêmes de Broseley. MM. Maw et Cᵉ sont aujourd'hui des concurrents sérieux. Quoi qu'il en soit, M. Herbert Minton a le mérite incontestable, je dis plus, incontesté, d'avoir fait revivre les carreaux encaustiques et d'en avoir porté la fabrication à son plus haut degré de perfection. Les difficultés qu'il a vaincues ont été nombreuses, mais aussi les succès qu'ont obtenus ses produits ont été en raison même de l'importance des obstacles à surmonter. Les carreaux de Stoke-upon-Trent sont aujourd'hui répandus dans les églises, les chapelles, les hôtels, les habitations particulières et les établissements publics; on cite comme étant des plus remarquables les pavages des parlements d'Osborne, de Washington, du palais de Saint-Georges et de l'hôtel de ville de Liverpool, des cathédrales d'Ely, Salisbury et Gloucester. Une fabrication similaire manque complétement en France.

§ III. DES POTERIES

Considérées dans leurs rapports avec les beaux-arts.

Il n'est à ma connaissance que bien peu d'industries qui puissent offrir avec les beaux-arts autant de rapports que celle qui nous occupe en ce moment. A l'exception des bronzes et de l'ameublement, qui nécessitent l'application immédiate et générale des arts du dessin, la sculpture et la peinture, je ne vois aucun fabricant qui ait plus que le potier à se préoccuper de l'application des beaux-arts à son industrie. Et cette situation n'est nullement moderne. Nous trouvons dans la céramique antique des types très-recherchés au double point de vue de la forme et du dessin, et les spécimens les plus authentiques de l'art chez les peuples civilisés de l'ancien comme du nouveau monde nous sont fournis par les poteries que certains usages ont fait parvenir jusqu'à nous beaucoup mieux conservées que les bronzes et les édifices.

Sans vouloir présenter ici les principes de ce qu'on peut appeler le *beau dans les arts*, il nous suffira de constater la grande variété qu'on rencontre dans les pièces d'usage ou d'ornement, tant vases et ustensiles divers que figures, groupes et sculptures que les potiers des différentes époques ont produits tour à tour. On a pu voir par une étude attentive du musée céramique de Sèvres, en suivant l'ordre chronologique des productions de la Manufacture impériale, l'histoire la plus évidente de l'art céramique dans ses transformations ou ses rapports avec le goût du jour. Cet établissement, qui a généralement pris la tête du mouvement, fait voir par conséquent toutes les variations de ce que, suivant des époques peu séparées les unes des autres, les gens de l'art réputés hommes d'un goût exquis ont regardé comme beau.

Nous devons dire à la gloire de notre pays que depuis le commencement du siècle, il marche le premier dans la voie de l'application des beaux-arts à l'industrie; il est inutile de rappeler ici la supériorité qu'ont mise en lumière les Expositions universelles de Londres et de Paris pour tout ce qui touche aux objets de goût. Nos voisins eux-mêmes se sont émus de cette tendance, qui contribue dans une large proportion à maintenir la prépondérance des produits de fabrication française sur les marchés étrangers; ils ont bien compris leur infériorité sous ce rapport dès la première exposition universelle, et c'est sur une grande échelle, avec des ressources immenses, qu'ils ont cherché de suite à répandre chez le peuple la vue des objets de bon goût, à faire sans fatigue l'éducation artistique de leurs ouvriers. On les a vus créer Marlborough-house, et pour ce qui regarde particulièrement la poterie, instituer dans leur centre de fabrication des écoles gratuites de dessin, de sculpture et de peinture. On a remarqué en France l'influence salutaire de ces établissements, presqu'au début de leur installation, à l'époque de l'Exposition de Paris, et personne n'a, je le pense, oublié l'effet produit sur le public par l'exhibition de M. Minton. Les meilleurs modèles de la manufacture de Sèvres avaient été reproduits à ce point, que l'administration jugea prudent, pour conserver son rang et ses droits, de faire placer dans son exposition les plâtres, avec leur date, des objets reproduits et exposés par les fabricants anglais.

On commence en France à profiter de l'influence de la manufacture de Sèvres. Il faut qu'on sache que toutes les richesses accumulées dans le musée céramique y sont déposées tout autant pour servir au développement de l'industrie que pour conserver les bonnes traditions et condamner les formes d'un style équivoque. Depuis vingt ans surtout, les collections ont pris un accroissement considérable. Et si, dès l'origine, on acceptait de préférence un vase grec, romain, étrusque ou mexicain, avec des défauts qui font connaître les principes de sa fabrication, à un vase grec, romain ou mexicain qui représenterait le sujet le plus instructif pour l'histoire de ces peuples, ou a quelque peu modifié cette loi; le côté que je nomme artistique a conquis sa place, et fort heureusement aujourd'hui le musée céramique présente un égal intérêt à ceux qui s'occupent de technologie comme à ceux qui suivent la fabrication des poteries dans ses rapports avec les beaux-arts. Il devait en être ainsi. Le musée reçoit, en effet, de trois sources ses éléments de formation et d'accroissement: ce sont celles où puisent ordinairement toutes les collections, les achats, les échanges et les dons volontaires. La première a été peu employée, mais la dernière a été la plus féconde; elle a fourni plus des sept huitièmes des pièces que le musée possède. Or, une très-grande partie des dons a suivi les expositions et portent sur des objets artistiques créés à grands frais en vue des concours nationaux ou universels.

Il suffit de dire ici les avantages que le musée céramique de Sèvres peut procurer aux fabricants français pour empêcher que cette institution ne soit utile qu'aux étrangers, et la faire servir, conformément aux intentions libérales de l'administration supérieure, aux progrès de l'une des plus remarquables industries du pays.

Nous ne sommes sans doute pas éloignés non plus de l'époque où le Conservatoire des arts et métiers (archives naturelles de l'Industrie française) sera doté d'une chaire de céramique, bien utile, en sans de tous les fabricants, pour répandre les notions indispensables à leur succès et compléter une œuvre violemment interrompue par la mort d'un savant dont le concours avait été le plus précieux à la rédaction de ce Dictionnaire. Nous avons nommé M. Ebelmen, l'habile administrateur de la Manufacture impériale de Sèvres.

§ IV. DES POTERIES

Considérées dans leurs rapports avec les douanes.

Depuis que les chapitres qui précèdent ont été rédigés, le traité de commerce conclu, le 23 janvier 1860, entre la France et le Royaume-Uni de la Grande-Bretagne et d'Irlande a fait justice du régime des prohibitions. Les poteries, telles que les faïences fines et les grès fins, qui étaient protégées par l'exclusion complète des produits anglais, vont avoir à lutter avec les poteries similaires fabriquées en Angleterre. Les droits d'entrée des autres produits céramiques vont être singuliè-

rement modifiés, puisque le traité conclu n'admet pas de droit protecteur au-dessus de 30 p. 100 de la valeur, les 2 décimes additionnels compris.

Il est évident actuellement que toute discussion qui porterait sur le point de savoir s'il y a lieu de maintenir ou non la prohibition en ce qui concerne les arts céramiques deviendrait oiseuse ; mais il est permis aujourd'hui de rechercher de quelle nature sont les modifications que notre production céramique devra subir par suite de ses rapports avec la fabrication anglaise.

En commençant par les produits les plus élevés comme valeur, on voit que, comme exportation, la fabrication de la porcelaine française doit retirer un bénéfice considérable du nouveau traité. Les porcelaines et les autres poteries entreront en franchise dans le Royaume-Uni ; la porcelaine et la poterie payaient jusqu'à ce jour, en Angleterre, un droit de 24 fr. 60 c. par 100 kilogrammes. A l'intérieur, il est probable que la porcelaine dure soutiendra la concurrence, et que les tentations auxquelles succomberont les consommateurs français, séduits par le brillant des faïences fines imprimées sous couverte, ne seront pas de longue durée ; elles n'auront pas une puissance capable de faire diminuer la production française, augmentée d'ailleurs par des débouchés plus libres à l'extérieur.

Quant aux faïences fines et aux grès fins, la question peut-elle être résolue de la même manière ? Les fabricants français se sont violemment émus du traité, qui, dans l'article 1, déclare que les droits *ad valorem*, admis pour les poteries de grès fin ou commun, et de terre de pipe, et pour les porcelaines, stipulés par le traité, seront calculés sur la valeur au lieu d'origine ou de fabrication de l'objet importé, augmentée des frais de transport, d'assurance et de commission nécessaires pour l'importation en France jusqu'au port de débarquement. Par l'article 13, il est stipulé que les droits *ad valorem*, établis dans la limite fixée par les articles précédents, seront convertis en droits spécifiques par une convention complémentaire qui devra intervenir avant le 1er juillet 1860. On prendra pour base de cette conversion les prix moyens pendant les six mois qui ont précédé la date du 23 janvier 1860.

Cette conversion serait grosse de dangers pour la fabrication française, si le gouvernement de l'empereur, qui s'est toujours montré si préoccupé des intérêts du commerce et de l'industrie, abandonnait un seul instant la vigilance dont il a donné tant de preuves jusqu'à ce jour. Il est certain que si la conversion avait pour base le prix moyen de poteries très-lourdes et d'une valeur relativement très-basse, le droit de 30 p. % *ad valorem* deviendrait illusoire.

J'ai recueilli sur ce sujet des données intéressantes qui trouvent naturellement place ici ; elles font ressortir par des chiffres les différences que présente la fabrication des cailloutages anglais sur la fabrication similaire française. On pourrait admettre, si l'enquête qui va s'ouvrir permettait d'étendre à toutes les manufactures de France ces chiffres qui représentent l'usine de Choisy-le-Roi, et que je tiens de l'amitié du directeur, que le prix de revient de la faïence fine se compose en moyenne de la manière suivante :

Combustible.		18 %
Terres à faïences et à cazettes. / Kaolin, ou terre à porcelaine. / Pegmatite. . . . . / Silex.	p. l. pâtes.	10 35
Minium. . . . . . / Céruse. . . . . . / Feldspath. . . . . / Acide borique. . . / Sable.	pour la glaçure. . .	7 65
		36 00

Report.	36 00
Couleurs.	1 00
Papiers à impression.	0 50
Main-d'œuvre	43 50
Transports	4 00
Intérêt du capital.	7 00
Emballages et frais divers.	8 00
	100 00

Si l'on compare ces éléments à ce qu'ils sont en Angleterre, on trouvera, d'après la même source, en faveur de cette dernière :

1° pour le combustible, une économie de	14 38
2° pour le kaolin, une économie de. . . .	1 29
3° pour le caillou de Cornwall.	0 32
4° pour le minium	0 95
5° pour l'acide borique.	0 44
6° pour les couleurs.	0 33
7° pour la main-d'œuvre.	3 53
8° pour les intérêts du capital.	3 53
9° pour les transports.	4 00
	28 74

En diminuant ce chiffre des bonifications dont on pourra jouir par suite de la diminution des droits d'entrée sur les houilles, sur les moyens de transport et sur les papiers d'impression, soit de 2,01, on trouve que les Anglais pourraient livrer leurs produits à 26,70 p. % au moins meilleur marché que les produits français.

En présence de ces chiffres, on comprend la préoccupation des manufactures de faïence fine ; ils redoutent de ne pas voir figurer dans l'étude qui doit précéder la transformation du droit *ad valorem* en droit par 100 kilogrammes tous les éléments variés que comporte la question. Il serait à désirer qu'on établît des catégories ; car, s'il est impossible de ne pas tenir compte des formes sous lesquelles les produits céramiques peuvent se présenter, il est aussi très-urgent de prendre en considération la différence de prix qu'un même poids de marchandises affecte dans des circonstances données. Ces différences ressortent des chiffres qui suivent :

100 kilog.		d'assiettes en blanc valent à Choisy	48 17
100	—	de plats.	87 84
100	—	tasses et soucoupes.	82 74
100	—	moyen creux.	71 00
100	—	grand creux.	110 72
100	—	assiettes parfilées	61 08
100	—	moyen creux.	84 44
100	—	grand creux.	122 15
100	—	assiettes imprimées.	90 55
100	—	moyen creux.	105 43
100	—	grand creux.	228 95

J'aurais voulu pouvoir, en présentant ces chiffres, y joindre les renseignements apportés par la discussion au sein de l'enquête à laquelle M. le ministre m'a fait l'honneur de m'appeler comme délégué du ministère du commerce, de l'agriculture et des travaux publics. L'enquête à peine commencée ne s'est encore occupée que des aciers, des fers et des fontes.

Quoi qu'il en soit des conclusions auxquelles arrivera la haute commission chargée de l'annexe du traité de commerce, les tarifs actuellement en vigueur seront profondément modifiés. On sait que dans la législation qui doit finir au 1er juillet 1861 :

1° La poterie grossière est admise au droit de 9 fr. les 100 kilog. ;

2° La faïence commune acquitte à l'entrée le droit de 49 fr. les 100 kilog. ;

3° La poterie de grès commun paye un droit de 15 fr. par 100 kilog. ;

4° Les poteries de grès fins et la terre de pipe sont prohibées; toutefois, il est fait exception en faveur des poteries de grès fins et de faïence fine de provenance belge, qui payant, aux termes de la convention du 22 août 1852 :

		fr.
par 100 kilog. d'assiettes et de plats blancs	33	»
par 100 kilog. de grand et petit creux.	66	»
par 100 kilog. d'assiettes imprimées.	60	»
par 100 kilog. de pièces peintes et dorées, quelles que soient leurs formes.	165	»

5° Les porcelaines communes payent à l'entrée 164 fr. par 100 kilog., et les porcelaines fines 237 fr. pour le même poids;

6° Les carreaux sont admis au droit de 4 fr. le 1,000;

7° Les briques payent un droit de 10 fr. le 1,000;

8° Les tuiles, suivant leur forme, sont taxées à 4, 10 et 25 fr. le 1,000. SALVÉTAT.

POULIES (FABRICATION DES). Nous n'avons donné à l'article POULIES que peu de détails sur les poulies composées, les moufles, qui sont les organes essentiels de la navigation, le moyen par excellence de produire de grands efforts pour maintenir les grandes voilures, en restant dans les conditions indispensables d'élasticité, ni surtout sur les ingénieuses méthodes de fabrication qui ont rendu illustre le nom de notre compatriote L. Brunel; nous n'avons décrit que quelques machines qui servent à terminer les poulies. Aussi allons-nous compléter cette description en reproduisant, d'après un ouvrage anglais, les machines les plus essentielles, et en entrant dans quelques détails sur l'ensemble de la curieuse manufacture créée par le génie de Brunel, qui, en perfectionnant surtout le travail des scieries et en organisant la succession des opérations, a montré la voie qui doit être suivie, dans des cas semblables, pour la fabrication en bois (qui *à priori* semble peu se prêter au travail en manufacture) d'objets pouvant être utilement produits en grand nombre.

Les machines de Brunel peuvent se diviser en quatre séries : 1° la scierie servant à débiter les grosses pièces de bois, que fournit le commerce, en blocs de dimensions convenables pour le travail ultérieur; 2° la machinerie propre à fabriquer la chape; 3° les machines servant à fabriquer les rouets; 4° les machines servant pour obtenir les axes.

A l'arsenal de Portsmouth, la machinerie servant à fabriquer au même temps trois genres de poulies de différentes grandeurs est mise en mouvement par deux machines à vapeur de 30 chevaux chacune. L'ordre du travail est celui ci : les troncs d'orme sont d'abord débités et préparés pour les poulies de diverses grandeurs par deux puissantes scies, l'une à action alternative, l'autre circulaire. Ces plaques de bois sont amenées au carré, en raison des grandeurs à obtenir par quatre scies circulaires montées sur des bancs pouvant glisser (une seule scie alternative est réservée pour de très-grandes poulies).

Toute la machinerie de Portherwallt, bâtiments, machines à vapeur, etc., compris, coûte 53,000 liv. sterl., et M. Brunel a reçu 20,000 liv. Elle a produit, de 1808 à la fin de la guerre, environ 140,000 poulies de diverses grandeurs chaque année.

Nous donnerons, d'après M. Poncelet, quelques renseignements sur les progrès réalisés par M. Brunel dans l'établissement des scieries à lames droites.

Scierie à action alternative. — Ces scieries de M. Brunel, établies sous sa direction par l'habile Henri Maudslay, se distinguaient de celles de Belidor par plusieurs points essentiels : 1° la rochet à déclic ou pied de biche recevait l'action d'une came ou onde adaptée au bras même de la manivelle au moyen d'un système de leviers articulés, qui faisaient avancer le chariot porte pièce pendant la descente même du châssis de la scie, lequel avait de plus la faculté de se retirer légèrement en arrière, pour éviter l'accrochement des dents pendant la montée; 2° le châssis lui-même était monté sur une courte bielle oscillante, à fourche droite ou inférieure, et ce châssis était muni latéralement de forts montants cylindriques en fer, évidés, remplis de bois élastique, et glissant dans des œillères vers leurs extrémités supérieures et inférieures; 3° les lames de scies, verticales et parallèles, étaient maintenues, haut et bas, à des distances respectivement égales, au moyen de calibres ou planchettes de bois posées sur des couples de boulons horizontaux parallèles, tarandés et ajustés aux montants, de manière à pouvoir, à l'aide d'écrous placés à l'un des bouts, serrer à la fois les calibres et les lames contre les épaulements fixés aux montants de l'autre bout, et, par suite, maintenir dans une position invariable et sans tâtonnement ces mêmes lames de scies, dont les étriers inférieurs ou supérieurs embrassaient, à l'ordinaire, les faces verticales des entretoises correspondantes du châssis; ceux du haut étant terminés en dessus par des crochets destinés à être saisis successivement, lors du montage des lames, par la branche la plus courte d'une forte bascule à contre-poids ou romaine locomobile, qui, au moyen de cales transversales glissées entre les étriers et la face supérieure de l'entretoise correspondante, permettait de tendre individuellement ces lames de quantités rigoureusement égales entre elles; 4° enfin, la pièce à débiter était elle-même fixée et retenue sur le chariot au moyen de procédés ingénieux, dont le plus important sans doute consistait dans deux forts étriers à montants articulés, et couronnés de chapeaux qui maintenaient cette pièce en dessus, en avant et en arrière, comme cela s'est vu depuis dans les scieries les plus perfectionnées.

Fabrication des chapes. — On perce d'abord les trous pour les axes à l'aide de la machine à percer (donnée fig. 2200), en raison du nombre de systèmes de rouets que doit porter la poulie, et en même temps des outils, placés à angle droit, percent des trous qui forment les extrémités des mortaises qui devront recevoir les rouets.

Les poulies sont alors placées sur la machine à mortaiser que nous allons décrire, assemblées sur un chariot mobile qui les amène sous le ciseau, se mouvant avec une très-grande rapidité (400 coups par minute, dit-on). Pour chaque coup de ciseau, il avance quelque peu, et l'opération continue ainsi jusqu'à ce que la mortaise soit achevée dans toute sa longueur. Les copeaux sont chassés de la mortaise par de petites pièces d'acier passant sous les ciseaux qui coupent le bois; elles sont placées à angle droit avec les ciseaux et renvoient dans le sens de la largeur le copeau fait à chaque coup, condition indispensable pour la perfection du travail. Les angles de la poulie sont alors enlevés à l'aide d'une scie circulaire (voir fig. 2202), puis elle est placée sur les circonférences de deux roues égales, fixées sur le même axe et écartées en raison des diverses grandeurs de poulies, chaque roue ayant dix rainures dans chacune desquelles peut se placer une poulie. C'est la machine à travailler les chapes que nous allons décrire. Ces roues tournent avec une grande rapidité devant un tranchant placé sur un support à chariot, placé sous une inclinaison convenable, et guidé de manière à entailler, de la forme voulue, l'extérieur de la chape. Quand l'outil a parcouru toute la longueur de la poulie, les roues sont débrayées, et on fait faire aux poulies un quart de tour pour exposer une nouvelle surface à l'action de l'outil tranchant. Quand toutes les faces ont été

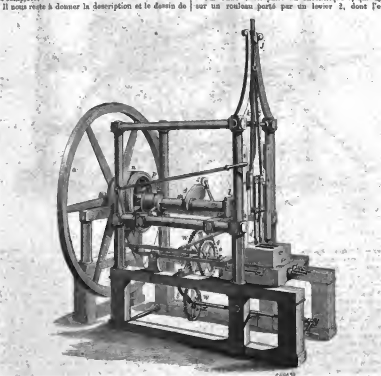
ainsi travaillées, les poulies sont enlevées et on effectue la dernière opération de la machine à entailler, qui est de pratiquer le trou qui doit traverser la tête de la chape. Les surfaces obtenues par ces opérations ne demandent plus qu'un petit poli donné à la main, et la chape est terminée.

Fabrication des rouets. — Les rouets sont faits en gaïac; ils sont débités dans des planches ayant leur épaisseur à l'aide d'une scie circulaire; puis placés sur une scie à couronne, qui perce le trou du centre en même temps qu'elle forme la circonférence (voir fig. 2204). Le rouet est placé dans une machine qui le retient pendant qu'on enfonce dans son milieu, l'axe tourné à ses extrémités. Le mécanisme à l'aide duquel cette opération s'effectue est très-ingénieux; un seul coup de marteau est nécessaire pour mettre l'axe en place. Un trou étant percé à travers l'axe et le bois, une goupille y est chassée et rend le tout solidaire.

Ces axes eux-mêmes sont faits, tournés et polis sur une machine spéciale; une fois placés, sauf les brides faites en fer ou avec des cordes (fig. 2198), la poulie est complète.

Il nous reste à donner la description et le dessin de bâti de la machine, glisse le chariot *e* portant la poulie dans laquelle on pratique la mortaise, assujettie sur le chariot à l'aide de la vis *c*; *d* est l'un des ciseaux, leur nombre dépendant de celui des rouets de la poulie; *g* le porte-outil se mouvant verticalement entre des guides placés sur deux montants; *j* partie ronde terminant le porte-outil et guidée dans un collier. Le porte-outil est mené par une manivelle, mise en mouvement par l'axe *m*, qui tourne par l'effet d'une courroie motrice qui passe sur le tambour *n*, et qui fait mouvoir le volant *o*. Le volant est rendu libre ou dépendant de la courroie, suivant l'action du cône de friction *p* qui pénètre dans l'intérieur du tambour *n*, et qui est mis en mouvement à l'aide du levier coudé *q*. *r* est une vis à double filet qui fait avancer le chariot; elle traverse un écrou, portant la roue à rochet *s* et la roue dentée *w*; *x* est un pignon agissant sur *w* et tourné à l'aide de la poignée *y*, système qui sert à amener la poulie en place, sous le couteau, au commencement de l'opération; après quoi le mouvement du chariot continue par le seul effet de la machine ainsi qu'il suit :

Sur l'axe *m* est placé un excentrique 1, qui agit sur un rouleau porté par un levier 2, dont l'ex-



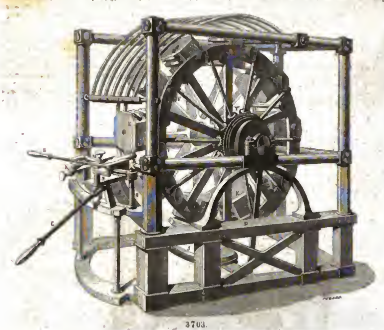
3702.

la machine à mortaiser et de celle à travailler les chapes.

Machine à mortaiser, représentée fig. 3702. — Sur le trémité inférieure est réunie à une barre horizontale 4, lequel a une dent agissant sur les dents de la roue à rochet; à chaque révolution de l'axe, l'excen-

trique, élèvent l'extrémité supérieure du levier 3, fait mouvoir dans une direction opposée la roue à rochet *e*, laquelle au moyen de son écrou fait tourner la vis et avancer le chariot, et, par suite, une nouvelle partie de bois à enlever se présente sous le ciseau. Quand toute la longueur de la mortaise est coupée, le mouvement du chariot est arrêté par une série de leviers assemblés aux colonnes; le chariot, arrivé au point indiqué comme fin de sa course, soulève un levier, et, par l'effet d'une communication, le levier 4 cesse d'agir sur les dents des roues à rochets.

Machines à faire les chapes (fig. 3703). — A est une



3703.

grande couronne circulaire solidement assemblée sur l'axe B; une seconde couronne C est disposée parallèlement à A. Cette dernière n'est pas fixée sur l'axe, mais elle peut glisser de manière à varier de distance avec A, en raison des diverses grandeurs des poulies; des boulons, passant à travers des trous correspondants des deux couronnes et des cales d'épaisseur voulue, servent à fixer l'écartement et le parallélisme; F F sont des disques dont l'axe traverse la roue A et porte d'un côté une petite croix; la couronne C porte des vis opposées dont l'intérieur renferme un anneau circulaire d'acier, tournant à frottement doux. Chaque poulie, lors de l'opération de percer les trous avant de passer à la machine à mortaiser, a eu sa ligne d'axe déterminée par l'impression d'un double cercle d'acier sur une extrémité et d'un cercle sur l'autre. Les marques du double cercle fixant la position de la croix, et le cercle de la vis est avancé par celle-ci jusqu'à ce qu'il serre, en coïncidant avec le cercle tracé, l'autre face du bloc. N est le support à chariot porté sur le bâti H et attaché à la barre circulaire J ayant même centre que l'axe B; K est le porte-ciseau, outil formé d'un petit cylindre horizontal, coupant parfaitement par ses bords et dans tous les sens; M, double barre courbe qui sert à guider la course de l'outil à l'aide du levier G, des deux barres courbes, l'une déterminant la forme de l'une des faces des poulies, et la seconde celle de l'autre face. C'est un levier attaché au chariot, servant à le faire marcher sur le bâti H, à angle droit avec le mouvement de glissement de l'outil, en décrivant une portion de cercle autour du centre de rotation de cette barre.

Le travail de la machine s'effectue ainsi : les chapes ayant été montées sur les couronnes, elles sont mises en mouvement à l'aide d'une courroie passant sur le tambour T, monté sur l'axe B. Le ciseau ayant été ajusté avec soin dans une position convenable, l'ouvrier, tenant le levier C dans sa main droite, fait glisser lentement le chariot le long de H, pendant que, tenant le levier G dans l'autre main, il maintient le contact avec les courbes M, et fait, par suite, que le ciseau engendre une forme semblable à celle de ces modèles.

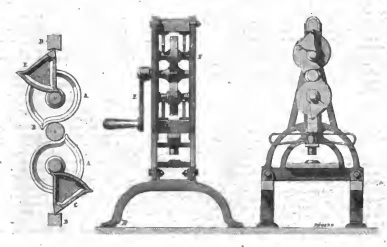
Quand la première face est terminée, les machines sont arrêtées, et on fait faire aux poulies un quart de conversion, pour qu'elles viennent présenter au ciseau la face voisine de celle déjà formée. On y parvient par le moyen suivant : l'extrémité extérieure de chaque disque F porte une roue V qui engrène avec une vis sans fin W; à l'extrémité de chaque axe, portant une semblable vis, est monté un pignon Y, engrenant avec une roue dentée, montée à frottement doux par l'axe central. Quand il faut faire tourner les poulies, cette roue est fixée au bâti à l'aide d'un verrou (qu'on ne voit pas sur la figure), et l'ouvrier fait tourner d'un

quart de révolution la couronne A; les pignons font marcher la vis sans fin, et on a ainsi exactement un quart de tour, d'après les proportions adoptées. Les couronnes remises en mouvement et le chariot poussé à travers le bâti, la seconde face est bientôt ainsi faite, et l'opération répétée de la même manière pour les deux autres.

PRESSES ANTIFRICTION *de M. Dick de Philadelphia.*—La déperdition du travail est énorme, dit M. Poncelet, par la percussion et le frottement dans l'ancien balancier à vis employé pour frapper la monnaie, et bien que cette déperdition soit, en majeure partie, évitée dans la presse à genou, il s'en faut qu'elle le soit entièrement, eu égard au jeu, au glissement relatif, inévitable dans les articulations ou surfaces d'appui des rotules. A plus forte raison en est-il ainsi dans les machines à estamper, à découper, où l'on fait usage d'excentriques circulaires à frottement ou glissement étendu.

Dans le but d'éviter ces inconvénients, M. Dick se sert uniquement, pour transmettre la pression d'un bout à l'autre de sa machine d'une succession de disques, de galets, en fer et acier (fig. 3704, 3705, 3706), pleins, très-solides, tournant autour d'autant d'axes horizontaux, tantôt fixes, tantôt susceptibles de céder à la pression par le glissement de leurs porte-coussinets le long de coulisses verticales pratiquées aux montants des châssis-supports. Ces disques ou galets composés, les uns de cylindres à tourillons ou de secteurs à couteaux arrondis d'un profil circulaire, les autres de cames doubles et opposées, en S, ou d'excentriques tracées, dans une portion plus ou moins grande de leur contour extérieur, suivant la forme de la développante du cercle, ces pièces, dis-je, réagissent entre elles par leurs contours entièrement lisses, sans glissement relatif, à simple roulement et en s'entraînant, dans leur rotation, autour des axes correspondants, en vertu même de leur frottement tangentiel; les pressions ou réactions normales étant d'ailleurs transmises d'axe en axe, depuis une extrémité jusqu'à l'autre de la machine, que terminent toujours des secteurs à oscillations d'amplitude limitée, et correspondant respectivement l'un à une pièce ou coussinet d'appui fixe, l'autre au coussinet mobile ou à la pièce qui doit transmettre directement l'effort vertical à l'objet qu'il s'agit de comprimer, percer, découper ou estamper.

Or, si l'on se rappelle que le tracé en développante de cercle a la propriété de répartir la pression d'un axe à un autre, suivant des directions invariables, en passant à des distances fixes et assez petites de ces axes, on comprendra sans peine que l'arbre horizontal auquel est directement appliqué le moteur, la manivelle, et qui correspond tantôt à un simple galet circulaire, tantôt à une double came interposée entre deux secteurs ou excentriques à développantes, entraînés par simple frottement, sans glissement relatif, etc., on comprendra, dis-je, sans peine, que cet arbre moteur essentiellement fixe, étant sollicité par une couple d'actions et de réactions normales, parallèles, symétriques et de sens contraire, il ne peut en résulter qu'un frottement insensible sur ses tourillons. Cette remarque, qui s'applique, *à fortiori*, aux tourillons des arbres, libres de céder aux résultantes de pressions normales, peut s'étendre également aux pivots ou couteaux des secteurs extrêmes, d'un rayon très-petit par rapport au leur propre.



3704. 3705. 3706.

Néanmoins, malgré tout ce que cette combinaison à galets et secteurs roulants, qui en rappelle d'autres déjà connues, offre d'ingénieux quant à la réduction des frottements, et ce qu'elle fournit de ressources précieuses dans une infinité de circonstances, il ne faut pas perdre de vue qu'elle a, comme la presse hydraulique, comme le cric ou la vis elle-même, simple ou combinée avec des rouages, l'inconvénient d'une manœuvre d'autant plus lente que la pression doit être plus énergique relativement à l'effort moteur, et cela, conformément au principe qui veut que les efforts exercés soient, pour chaque petit déplacement du système, *en raison inverse des chemins respectivement parcourus* dans le sens de leur direction propre. Il faudrait d'ailleurs de tout autres dispositions pour agrandir le

champ de la machine ou l'étendue des excursions de l'outil autant que le réclament certains travaux; cette presse ne saurait donc remplacer les autres, notamment lorsqu'il s'agit de matières très-compressibles. C'est pour ce motif que M. Poncelet range l'invention originale de M. Dick dans la classe des machines devant proprement servir à estamper, emboutir, poinçonner, etc., les pièces métalliques d'une assez faible épaisseur, n'exigeant par suite qu'une faible amplitude de course et un temps relativement peu considérable.

PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR LES ACTIONS CHIMIQUES. L'explication du phénomène physique le plus capital qui puisse être l'objet des recherches des savants, s'est successivement transformée avec les progrès de la science, ou pour mieux dire, les théories proposées jusqu'ici se sont successivement détruites les unes les autres, sans en laisser debout aucune quelque peu satisfaisante. Il m'a paru que des déductions nécessaires de la notion de l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur permettaient d'établir d'une manière tout à fait satisfaisante la théorie de la production de la chaleur par les affinités chimiques, et par suite celle de la mécanique moléculaire, dont le chimiste étudie les causes et les effets; c'est en réalité une seule et même question. Plus d'un chimiste de nos jours serait étonné, en ouvrant le traité de Chimie de Lavoisier, le principal promoteur du mouvement scientifique qui a amené la chimie à son état actuel, de voir que l'étude des phénomènes calorifiques y occupe la plus grande place, car cet homme de génie sentait bien que là seulement se trouvent la mesure et la loi des phénomènes.

Je commencerai par rappeler en quelques mots les systèmes successivement proposés pour rendre compte des faits.

Théorie du phlogistique. — Stahl essaya le premier d'établir un lien général entre les phénomènes du feu observés dans les combinaisons chimiques. Il regardait les corps combustibles comme dégageant, lors de leur combinaison, le principe qu'il nommait *phlogistique*, qui produisait le feu. Quelle était la nature propre du phlogistique? C'est ce qui ne fut jamais bien défini. On entendait bien que c'était une substance d'une nature particulière, mais cependant douée des attributs principaux des corps matériels. Ce système, bien qu'inspiré par un sentiment vrai de la réalité, parce que son auteur voyait que la chaleur sortait du corps lors de la combinaison, cependant n'expliquait rien, et revenait à bien peu près au simple énoncé du phénomène lui-même. Il ne pouvait résister à l'objection fondamentale que lui fit Lavoisier après l'analyse exacte de la combustion.

Théorie du calorique. — Il était sous-entendu dans la théorie du phlogistique, puisqu'il se dégageait un principe lors de la combustion dont la nature était plus ou moins assimilée à celle des corps matériels, qu'un corps combustible devait probablement perdre de son poids par la combustion, mais sûrement n'en pouvait gagner. Mais Lavoisier prouva que celle-ci consiste dans la combinaison du corps combustible avec le gaz oxygène, et constata que le poids final est celui du corps combustible augmenté du poids de l'oxygène. Nulle possibilité, par suite, de soutenir l'ancienne théorie, et nécessité de chercher une nouvelle explication des faits.

Lavoisier, assimilant le calorique à un gaz parfaitement élastique, sans pesanteur, pose en principe qu'il se combine avec les corps, comme ceux-ci se combinent entre eux. C'est ainsi que se produit l'état gazeux. Rien de plus simple, dit-il, que de concevoir qu'un corps devient élastique en se combinant avec un autre qui est lui-même doué de cette propriété au plus haut degré.

Quant à l'apparition du calorique lors de la combustion, elle devient, dans ce système, le résultat de réactions semblables à toutes les autres. Ainsi, après avoir décrit la combustion du phosphore dans l'oxygène, il ajoute : « Cette expérience prouve d'une manière évidente qu'à un certain degré de température l'oxygène a plus d'affinité avec le phosphore qu'avec le calorique; qu'en conséquence le phosphore décompose le *gaz oxygène*, qu'il s'empare de sa base, et qu'alors le calorique, qui devient libre, s'échappe et se dissipe en se répartissant dans les corps environnants. »

Malgré ses belles expériences de calorimétrie, dans lesquelles il eut le premier comparer les quantités de chaleur et non plus seulement les températures, Lavoisier ne put arriver à d'importants résultats. C'est qu'en effet, limitée à ce qui précède, la théorie du calorique n'est encore guère qu'un moyen d'énoncer les faits. Pour aller au delà, pour qu'on pût l'appliquer à des mesures d'effets, à la prévision des phénomènes, il fallait tirer les conséquences de l'affirmation de l'existence du calorique. C'est un travail que Lavoisier ne put compléter, mais il fut admis par ses collaborateurs que c'était la condensation qui était la cause du dégagement du calorique, comme la dilatation était la cause de son absorption. C'était par la compression du métal, par exemple, que Berthollet, défendant la théorie triomphante du calorique contre celle des vibrations que reprenait Rumford, prétendait expliquer la chaleur que celui-ci produisait par le frottement de métal sur métal. Il était, en effet, assez naturel de penser, d'après les propriétés de l'oxygène, le grand rôle qu'il joue dans la nature, la multiplicité de ses combinaisons très-fréquemment solides et liquides, après avoir reconnu que les gaz consomment, pour être produits, une grande quantité de chaleur, de conjecturer que la chaleur produite par les combinaisons chimiques provenait de la condensation de l'oxygène.

Si, dans beaucoup de cas, appliquée à la combustion du phosphore, des métaux, etc., cette théorie paraît conforme aux faits, il en est un grand nombre aussi qui démontrent qu'elle est totalement insuffisante. C'est ce qu'il est facile de mettre hors de doute, en citant l'exemple le plus saillant, celui des explosions de la poudre à canon, du coton poudre; cas dans lesquels des corps solides produisant des volumes gazeux très-considérables devraient, si cette théorie était vraie, engendrer un très-grand froid en raison de la dilatation produite. L'expérience faisant reconnaître qu'il se dégage alors de grandes quantités de chaleur condamne la théorie, et prouve qu'elle ne peut donner l'explication des phénomènes.

On a voulu encore expliquer la production de la chaleur par les différences des chaleurs spécifiques du composé et des composants. Il suffit de poser des chiffres pour reconnaître que les faits ne s'accordent pas avec cette manière de mesurer les effets produits, et qu'on ne peut ainsi se rendre compte des grandes quantités de chaleur qui apparaissent dans certains cas. Nous verrons plus loin pour quelle part cet élément entre dans l'analyse complète de la combustion.

Théorie électro-chimique. — La décomposition des corps par l'électricité a conduit à expliquer, par l'intervention de cet agent, les combinaisons de la chimie. Formulée par Ampère, un des plus grands esprits qui se soient occupés de philosophie naturelle dans ces dernières années (et qui expliquait les faits calorifiques par des vibrations), elle a été développée par Berzélius et plusieurs autres éminents chimistes. Toutefois, les progrès de la chimie ont été contraires à son adoption pour l'explication universelle des phénomènes chimiques, et elle n'est plus guère aujourd'hui qu'une ré

serve pour le cas où on ne peut sans elle trouver une explication satisfaisante des faits.

Au point de vue de la production de la chaleur, nous rappellerons que la théorie électro-chimique consiste à considérer la chaleur comme produite par la neutralisation des électricités opposées des atomes qui se combinent. Il est facile de voir combien cette explication est insuffisante. 1° Elle suppose qu'il y a toujours neutralisation lors d'une combinaison chimique, tandis que l'expérience démontre qu'il y a, en général, au contraire, dégagement d'une grande quantité d'électricité rendue libre. C'est sur ce fait que repose la construction de la pile électrique, l'instrument par excellence pour la production de l'électricité. De même M. Becquerel a reconnu que dans la combustion du charbon il se développe beaucoup d'électricité et rien n'indique la neutralisation d'une autre quantité. Cette neutralisation est une conception de l'esprit née du désir d'expliquer les faits, et qui n'est pas plus l'expression exacte de la réalité que l'hypothèse de deux fluides différents, qui est aujourd'hui généralement considérée comme fort contestable.

2° Si l'électricité appartient aux atomes des corps (ce que rend difficile à admettre le changement perpétuel de rôle d'un même corps tantôt électro-négatif, tantôt électro-positif, suivant le corps avec lequel il se combine), et si la chaleur est produite par la neutralisation qui se produit lors d'une combinaison, une même quantité de chaleur devrait être absorbée lorsque le même corps sortirait d'une première combinaison. Il s'ensuit que les combinaisons précédées de décompositions, comme dans les explosions, devraient donner pas ou peu de chaleur; or, c'est le contraire qui a lieu.

3° Enfin l'expérience a parfaitement démontré qu'on devait attribuer les effets calorifiques qui apparaissent lorsqu'on réunit les pôles d'une pile uniquement à la résistance qu'oppose le conducteur au passage du courant. Ces effets varient rapidement par cette cause; en effet, et pour une même quantité d'électricité sont proportionnels à la résistance du conducteur, tandis qu'ils devraient être constants pour la neutralisation d'une même quantité, suivant la théorie électro-chimique.

En résumé, l'explication du phénomène de la production de la chaleur par la puissance mystérieuse de l'électricité n'est pas le résultat de la discussion des faits, n'a pas d'existence réelle, ne présente pas de vérifications nombreuses qui lui donnent de la valeur. Elle est un simple aperçu provoqué par le grand nombre d'expériences qui prouvent que les phénomènes calorifiques et électriques s'accompagnent les uns les autres ou qu'ils se provoquent mutuellement. La loi de la production de l'électricité se déduira plutôt de la connaissance plus approfondie des lois qui président aux combinaisons chimiques, que celles-ci de la première.

DE LA CHALEUR ET DE SON ÉQUIVALENCE AVEC LE TRAVAIL MÉCANIQUE.

L'équivalence de la chaleur et du travail mécanique, l'intervention certaine des actions moléculaires dans la métamorphose d'un phénomène en l'autre comme nous l'avons vu en étudiant, dans un premier travail, les chocs, les ruptures moléculaires (voyez ÉQUIVALENT MÉCANIQUE), offrent aux sciences physiques des ressources nouvelles. Toute expérience dans laquelle il y a production de chaleur pouvant s'interpréter en quantité de travail ou inversement, on a la possibilité d'utiliser des résultats qui jusqu'ici n'avaient aucun sens parce qu'ils paraissaient hétérogènes, de deux natures, qu'on ne voyait pas de rapport entre eux. Ils prennent, au contraire, une signification dont on comprendra l'importance extrême dans la question, si on remarque les réactions qu'étudie la chimie, le jeu des forces d'affinité qui réunissent les molécules du composé produit de la chaleur, et que cette chaleur représente une quantité de travail moléculaire, d'après la théorie de l'équivalence.

C'est l'introduction dans l'analyse des phénomènes de la production de la chaleur, de cette correspondance entre éléments considérés jusqu'ici comme étrangers les uns aux autres, qui me semble permettre d'établir la théorie de cette production par le jeu des affinités chimiques. C'est ce qui existe déjà pour l'effet semblable du travail mécanique, car la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur, dans l'état actuel de la science, doit être considérée comme la théorie de la production de la chaleur par travail mécanique ou inversement. En effet, en établissant la loi de correspondance entre les deux ordres de phénomènes, elle fournit le moyen de mesurer l'un quand l'autre est connu. Ainsi, connaissant dans une action mécanique la quantité de travail consommée en frottements, en chocs, qui ne se retrouve pas sous forme de travail mécanique, on aura, en calories, la quantité de chaleur produite, en divisant par 440 (en admettant notre détermination de l'équivalent) cette quantité de travail exprimée en kilogrammètres. Inversement la chaleur, le nombre de calories qui disparaît en produisant un travail mécanique, engendrera un nombre de kilogrammètres qui sera obtenu en multipliant par 440 ce nombre de calories.

Cet exemple nous montre la nécessité de considérer toujours dans cette étude des quantités de travail et des quantités de chaleur, c'est-à-dire des unités complètes, et non pas, comme on le fait souvent à tort en mécanique, seulement des forces ou des vitesses, ou en physique des degrés de thermomètre, comme on ne le fait aussi que trop souvent. La substitution dans la pratique des quantités de chaleur aux degrés, introduite par Laplace et Lavoisier dans leurs expériences de calorimétrie, sera aussi utile aux progrès de la physique que l'a été l'introduction du travail dans la mécanique appliquée.

La correspondance entre la chaleur et le travail mécanique, en nous fournissant le moyen de réduire tous les effets en unités de même nature, va nous permettre, dans l'étude de la chaleur produite par les affinités chimiques, d'appliquer le principe de permanence des forces sous la double forme qu'elles peuvent prendre.

Posant comme un axiome de toute évidence que la chaleur produite dans une réaction chimique ne peut pas plus être anéantie que la matière, qu'elle doit se retrouver sous une forme ou sous une autre aussi bien que celle des composants, nous devons pouvoir la vérifier en *pesant* en quelque sorte la chaleur comme Lavoisier pesait la matière, en posant l'équation du travail des forces en jeu comme on en établit une, à l'aide de la balance, entre les éléments des corps qu'on examine et ceux qu'on en retire par l'analyse. Une semblable vérification n'existe pas en fait, quand on s'en tient à la chaleur seule, mais nous savons que lorsque de la chaleur disparaît, il peut se produire une quantité de travail mécanique *équivalente* à cette quantité de chaleur, d'où l'on peut conclure que toute différence observée proviendra d'une semblable transformation, lorsque nous constatons en même temps la production d'un travail.

Ainsi donc, en ayant soin d'évaluer simultanément la chaleur et le travail moléculaire, on pourra mesurer exactement toute la chaleur ou tout le travail qui correspondront à une réaction chimique étudiée expérimentalement, et retrouver toujours les quantités qui appartiennent aux composants et celles qui reviennent au composé. Ce qui suit n'est que l'application de ce principe, au milieu des transformations de chaleur en travail et de travail en chaleur.

Je le répète, j'arrive ainsi, pour les forces en jeu,

exactement au résultat obtenu par Lavoisier pour la matière pondérable. Je citerai ici les paroles de ce grand homme, qui s'appliquent également aux deux ordres de recherches. « Je puis considérer, dit-il, les matières mises en jeu et le résultat obtenu comme une équation algébrique; et *en supposant successivement chacun des éléments de cette équation inconnus, j'en puis tirer une valeur et rectifier ainsi l'expérience par le calcul et le calcul par l'expérience*. J'ai souvent profité de cette méthode pour corriger les premiers résultats de mes expériences et pour me guider dans les précautions à prendre pour les recommencer. »

Nous passerons en revue les phénomènes divers de consommation et de production de chaleur ou de travail mécanique équivalent en les divisant en deux séries :

1° Ceux d'ordre physique, qui se rapportent à l'état des corps sans modification de leurs molécules; c'est d'eux seuls, et dans certains cas seulement, que tenait compte la théorie de Lavoisier.

2° Ceux d'ordre chimique, c'est-à-dire dans lesquels se produisent des modifications atomiques, dans lesquels l'intervention des forces d'affinité détermine des combinaisons.

1° PHÉNOMÈNES PHYSIQUES.

Les phénomènes physiques qui accompagnent les réactions chimiques ont été traités dans des articles spéciaux. Je rapporterai ici seulement quelques-uns des résultats principaux auxquels cette étude a conduit, quant à leur interprétation au point de vue dynamique.

Chaleurs latentes de fusion des solides. — Le nombre de calories qui mesure la chaleur latente des solides, la différence entre les quantités de chaleur de ces solides et celle des liquides en provenant à même température, multiplié par l'équivalent mécanique de la chaleur, par 440, représente une différence de forces vives égale au nombre des kilogrammètres, au travail qui serait consommé pour la rupture des cohésions moléculaires qui réunissent toutes les molécules élémentaires de l'unité de poids du corps pour former un corps solide. Les effets mécaniques correspondent là d'une manière incontestable à la consommation de la chaleur.

Si le corps n'est pas revenu à l'état solide, s'il reste pâteux, dans un état semblable à celui du soufre mou, il se comporte comme s'il conservait une partie de sa chaleur latente de fusion; cette quantité est la cause de l'état particulier d'agrégation qu'il présente, et mesure les effets qui lui appartiennent. Ainsi, en réalité, le soufre mou est autant liquide que solide, ses molécules ne sont pas réunies par toute la cohésion qui constitue ce dernier état. Ce qui le prouve bien, c'est que lorsqu'on le chauffe à une température voisine du point de liquéfaction du soufre, il reprend, en dehors des conditions de temps, l'état solide, en dégageant la chaleur latente qui répond à la cohésion qu'il prend alors.

Chaleurs latentes de vaporisation des liquides. — Le nombre de calories qui mesure la chaleur latente de vaporisation donne la mesure de tout le travail extérieur que peut produire, sans changement de température ni de pression, par un accroissement de volume, l'unité de poids du liquide converti en vapeur.

Liquéfaction des gaz. — Le travail nécessaire pour liquéfier un gaz, à une température constante, peut être calculé d'après les pressions de ce gaz pour divers volumes, avec une approximation très-grande dans presque tous les cas, d'après la loi de Mariotte. (Voy. LIQUÉFACTION DES GAZ.) Cette quantité, divisée par l'équivalent mécanique de la chaleur, fournit pour l'unité de poids le nombre de calories qu'il faudrait enlever au gaz pour le liquéfier par abaissement de température. Ce sont des effets identiques qui peuvent être produits par les deux puissances que nous cherchons à mettre en équation et qui prouvent bien leur homogénéité. Ainsi le travail nécessaire pour liquéfier un litre de gaz sulfureux étant 34 kil. mét., sa chaleur latente sera, en divisant par 440, pour cette quantité pesant 2g,85, 0,243, et pour 1g, 0,092. On a trouvé par expérience directe 0,094.

Observation. — Si l'on fait entrer dans une même équation les quantités de travail qui correspondent à la fusion des solides et celles qui se rapportent à la liquéfaction des gaz, on devra leur donner des signes contraires. En effet, celle relative à la fusion des solides correspond à la destruction d'une cohésion moléculaire préexistante, qui peut être mesurée par un travail mécanique, à l'aide d'une consommation de chaleur; et celle relative à la liquéfaction des gaz par un travail mécanique, au dégagement de la chaleur qui a antérieurement été la cause de l'état gazeux. L'état liquide, intermédiaire entre les deux autres, ne peut prendre naissance que par une consommation de chaleur dans le premier cas, et un dégagement dans le second. Ces quantités sont donc bien de sens opposé, comme les quantités de travail qui leur sont équivalentes, de signes contraires.

Chaleurs spécifiques. — Au moyen de l'emploi des chaleurs latentes de fusion permettant de tenir compte de la quantité de travail qui est consommée pour rompre la cohésion des molécules des corps solides, et de celui de travail de compression nécessaire pour produire la liquéfaction des gaz, on voit que l'on peut considérer les actions mutuelles des corps, au moyen d'une évaluation préalable de quantités de travail convenables, comme se produisant entre corps liquides. On tient ainsi un compte exact des différences des forces vives des molécules, de la constitution physique du corps répondant à un emmagasinement ou une consommation de travail ou de chaleur. L'évaluation des phénomènes physiques serait ainsi complète, si la fusion des solides ou la liquéfaction des gaz (ce qui à la rigueur pourrait avoir lieu le plus souvent dans ce dernier cas en employant une compression suffisante) se produisaient toujours à une même température.

Cela n'étant pas, il faut ramener les corps à une même température, en tenant compte des quantités de chaleur consommées par l'échauffement ou le refroidissement des corps, à l'aide de leurs chaleurs spécifiques. Ainsi, si l'on prend zéro pour point de départ, tous les liquides obtenus par fusion devront être ramenés *fictivement* à zéro en multipliant leurs chaleurs spécifiques par le nombre de degrés qui mesure la température du point de fusion du corps considéré.

Ce mode de raisonner suppose démontrés les principes importants, déjà établis à l'article CHALEURS SPÉCIFIQUES, mais sur lequel il importe de revenir ici, car de son exactitude dépend celle de la théorie capitale qu'il s'agit d'établir. On peut ainsi les formuler pour des corps simples, ceux dont les molécules chimiques ne peuvent éprouver d'action intérieure (ce qui peut conduire à vérifier si un corps est réellement simple).

1° La chaleur spécifique d'un corps à l'état liquide est celle qui appartient à la molécule chimique du corps.

2° La chaleur spécifique d'un gaz, qui se constate par la quantité de chaleur qu'il communique à un liquide froid, est celle du liquide que produirait sa liquéfaction, celle de la molécule chimique, diminuée de la chaleur correspondant au travail produit par la dilatation du gaz sous pression constante, effet spécial de la chaleur pour cette constitution de la matière qui met sous forme d'action mécanique partie de l'action calorifique pour un gaz ou, ce qui revient au même si le travail mécanique est impossible, engendre une aug-

mentation de pression susceptible de produire cet effet mécanique pour un gaz, à volume constant.

3° La chaleur spécifique d'un solide est moindre que celle qui appartient à la molécule chimique ou au liquide produit par la fusion du corps, ce qui est la même chose, d'une quantité qui est en rapport avec la cohésion du solide, avec la grandeur de la chaleur latente de fusion.

Je reviendrai ici sur ces divers points, pour compléter ce que j'ai dit à CHALEURS SPÉCIFIQUES, pour prouver que l'usage que je vais faire des principes ci-dessus est bien fondé.

I. Le premier principe que nous nous sommes contenté d'établir d'après les résultats d'expériences faites sur des corps liquides à la température ordinaire, lorsqu'on suit leurs chaleurs spécifiques de 0° à 20° (dans ce cas, les variations sont irrégulières, minimes et parfaitement dans les limites des erreurs d'expériences), est contraire à ce qui est admis aujourd'hui en physique. On professe même que les chaleurs spécifiques des liquides croissent rapidement avec la température, et on considère le fait comme établi par expérience. Tout repose sur des déterminations faites par M. Regnault, sur l'eau, sous des pressions et des températures croissantes de zéro à 230°. Mais on eût dû observer que ces expériences, très-exactes, donnent en bloc tout l'effet calorifique produit, sans tenir compte de la transformation que subit le corps par l'effet des actions auxquelles on le soumet, et qui le font tout autre qu'au départ. L'eau comprimée pour ne bouillir qu'à 230° est absolument dans le même état que l'acide sulfureux liquide à 125°, dont la dilatation est 0,0036, égale à celle des gaz ; ou que l'acide carbonique à + 30°, dont la dilatation est 0,0142, c'est-à-dire quatre fois plus considérable que celle des gaz. Sont-ce là des liquides? Évidemment il y a là un phénomène spécial qui mérite une grande attention et qui ne peut s'expliquer autrement qu'en admettant, comme je l'ai dit en traitant de la DILATATION DES LIQUIDES, la présence de vapeur intermoléculaire maintenue en place par la compression, ce qui fait des accroissements de volume dus à la formation de ces vapeurs qui ne sont certes pas des dilatations, car celles-ci ne sauraient être plus grandes que celles des gaz. De là résulte bien clairement que les valeurs obtenues par les expériences de M. Regnault comprennent un élément étranger, la condensation d'une petite quantité de vapeur, et par suite ne prouvent nullement la variation de la chaleur spécifique des liquides.

Une expérience vulgaire et répétée fréquemment conduit à admettre cette constance, et la chaleur spécifique du liquide comme celle des molécules chimiques. Je veux parler des mélanges de liquides, dont les éléments se modifient d'une manière souvent si grande, relativement à leur écartement. Et cependant il est parfaitement certain, et confirmé par nombre d'expériences, que toutes les fois que les liquides mélangés n'ont pas d'action chimique, qu'il ne tend pas à se former de composé nouveau, il n'y a jamais aucun changement calorifique produit par le mélange de deux liquides de même température. Il faut donc que le déplacement des molécules liquides n'ait produit aucun effet calorifique, que la chaleur spécifique du mélange soit exactement la moyenne de celle des éléments.

La vérification trouvée pour les chaleurs spécifiques des liquides et des vapeurs auxquelles ils peuvent donner naissance (art. CHALEURS SPÉCIFIQUES), lorsqu'on tient bien compte de tous les éléments, nous paraît une vérification parfaitement probante de cette manière de voir, et montre bien que la chaleur spécifique de la molécule libre est une quantité constante, invariable.

II. Le double effet produit par l'échauffement des gaz, en raison de leur nature intime, montre que lorsqu'on connaît le travail nécessaire pour les liquéfier à une température déterminée et la chaleur spécifique du liquide qui en résulte, non-seulement on a tous les éléments nécessaires pour ramener l'action à celle du liquide à zéro ; mais encore que l'on a absolument le même résultat que si on avait pu déterminer le travail de la liquéfaction à zéro, la chaleur spécifique appliquée au liquide étant la même que celle qui eût dû être appliquée au gaz, sauf une différence de travail mécanique qui est précisément égale à la variation du travail nécessaire pour effectuer la liquéfaction.

Parlant ici des gaz, je compléterai ici ce que j'ai dit sur l'égalité des chaleurs spécifiques à volume constant et à pression constante, principe très-important que j'ai établi théoriquement et dont on a une vérification expérimentale. Elle se trouve dans la curieuse expérience de M. Joule, par laquelle il a montré qu'un gaz comprimé peut augmenter de volume en étant mis en communication avec un espace vide, à parois inextensibles, sans changer de température, et qu'il en est ainsi toutes les fois qu'il n'y a pas de travail produit. Dans le premier état, le gaz peut être considéré comme du gaz chauffé à volume constant ; comme il ne refroidit pas en passant à une pression quelconque tout en changeant de volume, il faut donc *nécessairement* que les deux capacités soient égales.

III. Le principe établi pour les chaleurs spécifiques des solides, d'après lequel celles-ci sont moindres que les chaleurs spécifiques des molécules chimiques, repose sur la nature spéciale des vibrations calorifiques des corps solides, dont les molécules ne sont pas libres, qui sont nécessairement pendulaires. En vibrant à l'unisson avec des molécules liquides, en faisant le même nombre de vibrations dans le même temps, pour une même température, mais dont l'étendue est moindre, il en est nécessairement de même de la vitesse et des forces vives. L'effet de celles-ci est d'écarter les molécules, malgré les forces de cohésion souvent considérables qui les réunissent ; elles font naître les dilatations et les diminutions de résistance du corps à la rupture qui accompagnent l'échauffement. Il est évident que voulant considérer les réactions entre les corps ramenés à l'état liquide, le principe fondamental que la chaleur spécifique de la molécule chimique est celle qui s'observe à l'état liquide justifie le mode de raisonner que nous allons employer pour ramener *fictivement* les corps à zéro. En effet, la connaissance de la chaleur spécifique du solide et de sa chaleur latente permettra de déterminer toute la quantité de chaleur nécessaire pour la liquéfier, et l'emploi de la capacité à l'état liquide combiné avec la température de fusion, de ramener le tout à zéro.

La chaleur latente de fusion a une relation intime avec la différence des chaleurs spécifiques à l'état liquide et solide ; elle est en général d'autant plus notable que cette différence est plus grande, que le mode de constitution des corps rend le passage de l'état solide à l'état liquide plus tranché, qu'il s'agit de corps cristallisés par exemple. C'est ce qui explique la curieuse relation découverte par M. Person pour une assez nombreuse famille de corps, pour des chaleurs spécifiques des corps solides déterminée vers 100°, et qui permet d'obtenir sous une forme simple la relation en question. M. Person a trouvé :

$$(M + N)(C - c) = L,$$

M étant constant et égal à 160°, N la température de fusion, C et c les capacités à l'état liquide et solide, L la chaleur latente.

D'un autre côté, la réduction à zéro indiquée ci-dessus revient à $L + Nc - NC = L - N(C - c) = M(C - c)$, d'après la relation ci-dessus. Il suffira donc souvent

de déterminer C et c, M étant sinon absolument constant, au moins devant peu varier pour des corps analogues.

Corps composés. — Nous avons supposé, dans ce qui précède, qu'il s'agit de molécules simples; nous avons négligé les effets qui peuvent se produire à l'intérieur de la molécule même. Nous allons étudier plus loin ce genre de molécules, en les considérant, ainsi qu'on doit le faire, comme de petits corps solides formés par la réunion des atomes élémentaires. Il en résulte que, pour les corps composés, les effets de la chaleur se rapportent à la fois aux molécules similaires et aux atomes qui constituent ces molécules par leur réunion en un petit solide.

Le principe ci-dessus explique pourquoi la loi de Dulong n'est qu'approchée, comment les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques sont moindres pour les molécules composées, comme pour les corps solides, que le même produit pour les corps simples élémentaires multiplié par le nombre des atomes qui entrent dans la combinaison.

L'observation que nous faisons ici s'applique également aux corps solides, liquides ou gazeux, dont les molécules sont complexes, et par suite qui sont de petits corps solides relativement aux actions de la chaleur, à la diminution des chaleurs spécifiques.

Nous montrerons cette influence en poursuivant la vérification de la loi de Dulong pour les gaz, en employant à cet effet les chaleurs spécifiques à l'état liquide déterminées précédemment, c'est-à-dire en tenant compte de la partie de chaleur transformée en travail, qu'on a eu le grand tort de négliger jusqu'ici, seule cause d'une irrégularité qui paraissait indiscutable.

Nous donnerons ainsi à cette belle loi son entière extension, et elle est d'une grande valeur à cause de sa conformité avec la nouvelle théorie de la chaleur, puisqu'elle prouve qu'une même quantité de chaleur communiquée aux molécules élève d'un même nombre de degrés un même nombre d'atomes des divers corps simples, que la quantité de force vive engendrée est la même.

Gaz simples.

Noms.	Poids atomique.	Capacité.	Produit.
Oxygène	100	0,4052	40,52
Hydrogène	6,239	6,4346	40
Chlore	221,32	0,2064	44
Azote.	88,52	0,4560	40

Gaz composés.

Noms.	Poids atomique.	Capacité.	Produit.
Oxyde de carbone CO.	175	0,4659	81,36
Acide chlorhyd. H^2Cl^2	455	0,3405	154,80
Acide carbonique CO^2	275	0,3524	96,90
Acide sulfureux SO^2	401	0,2562	102,40
Vapeur d'eau H^2O	112	1,0000	112,20

On trouve de même pour quelques corps liquides :

		Capacité.	
Chlorure de silicium	SCl^3	0,1914	173
Sulfure de carbone	CS	0,2179	120
Chlorure de soufre	S^2Cl	0,4599	124

On voit la grande influence de l'élément que nous cherchons à apprécier, qui fait que, tandis que la loi de Dulong se vérifie parfaitement sur les gaz simples, elle ne s'applique pas aussi exactement aux gaz composés, sans aucun doute à cause de l'effet produit par la chaleur sur la molécule composée, parce qu'il y a une diminution comme pour les corps solides, suivant leur état physique, du fait du petit solide formé par les atomes élémentaires. Les différences que l'on observe, qui sont exactement du même ordre, sont comprises dans les mêmes limites que dans le cas des solides; elles ont sans aucun doute une relation intime avec l'état moléculaire du composé ou avec la quantité de chaleur dégagée lors de la combinaison. C'est un élément qui pourra être utilisé par la science quelque jour, avec grand profit, pour l'analyse de la constitution moléculaire intime.

Sauf la nécessité de tenir compte de ces dernières observations et seulement pour des différences assez faibles pour arriver à une grande précision, on peut se dispenser de déterminer directement les capacités des corps composés. En effet, la généralité de la loi Dulong étant bien établie pour tous les corps, c'est-à-dire la *même quantité de chaleur échauffant également un atome de tous les corps simples*, la combinaison de plusieurs atomes exigera plusieurs fois cette même quantité de chaleur; c'est-à-dire que la chaleur spécifique ne dépend jamais que des éléments du corps et jamais de la nature du composé.

Résumé.

A l'aide des éléments que nous venons de passer en revue : chaleur latente, travail nécessaire pour la liquéfaction des gaz, chaleurs spécifiques du liquide obtenu et du solide primitif, une fois déterminés pour chaque corps, on peut tenir compte de tout ce qui appartient à l'état physique des corps dans les phénomènes calorifiques, et ramener l'étude de leur production, dans les réactions chimiques, à celles engendrées entre corps liquides à une même température, zéro par exemple.

Obtenir ce résultat était la condition préliminaire indispensable de toute mesure de chaleur ou de travail; il était impossible d'arriver à évaluer les autres effets, si d'abord on ne tenait compte des quantités considérables qui peuvent être dissimulées par l'état physique des corps.

On sait bien que c'est à l'état liquide que les molécules sont à l'état convenable pour entrer dans de nouvelles combinaisons, que les forces d'affinité peuvent produire leurs effets. *Corpora non agunt nisi soluta*, disait l'ancienne chimie; mais il fallait encore établir que c'était à cet état, par une même température, qu'il fallait étudier les effets des forces en jeu et en donner le moyen avant de pouvoir marcher plus avant.

2° PHÉNOMÈNES CHIMIQUES.

Ce qui précède suffit pour l'analyse des phénomènes de la chaleur toutes les fois qu'il ne s'agit que de mélanges, de phénomènes physiques, que le corps ne change pas d'état, qu'il ne se produit pas d'action chimique, c'est-à-dire de modification dans la constitution atomique, qu'une combinaison nouvelle ne met pas en action les forces d'affinité, d'attraction. Dans ce cas, il ne serait évidemment pas tenu compte, si on se bornait à raisonner comme précédemment, de cet élément nouveau.

Avant de voir comment on peut parvenir à mesurer les effets alors produits, rappelons que les deux ordres de phénomènes ne sont pas indépendants, qu'ils doivent être étudiés simultanément, qu'il existe une relation intime entre les faits d'ordre physique et mécanique et ceux d'ordre chimique. S'il était nécessaire de le démontrer, nous renverrions à la statique chimique de Berthollet, œuvre de premier ordre dans laquelle ce savant a si bien classé toutes les conséquences du phénomène physique de la solubilité, aussi bien qu'à la presque totalité des lois générales admises aujourd'hui par les chimistes qui permettent de prévoir les effets d'une réaction.

C'est surtout la chaleur qui joue un rôle tout à fait capital comme élément physique au point de vue de la possibilité des combinaisons, les affinités ne pouvant en général triompher seules, sans l'aide de la chaleur, des

forces qui s'opposent à la combinaison, telles que celles qui causent la cohésion des solides. Tantôt, et le plus souvent, le rôle de la chaleur se borne à amener les corps à l'état liquide pour que les réactions puissent se produire. D'autres fois, on utilise la facile volatilisation d'un élément par la chaleur, et celle-ci sert à intervertir l'ordre des affinités naturelles. Par exemple, le fer décompose la potasse à une température élevée, à cause de sa fixité et de celle de son oxyde, enfin de la facile distillation du potassium. Or, puisque la chaleur intervient dans la presque totalité des réactions chimiques, on ne peut éviter de conclure que les effets d'affinité et de chaleur, ceux des forces chimiques et les forces physiques, sont homogènes, de même nature. Autrement elles ne sauraient agir en sens opposés, comme cela a lieu presque toujours.

Arrivons maintenant aux effets calorifiques produits par les réactions chimiques. Nous pouvons établir quelques principes fondés sur l'expérience qui nous conduiront sans erreur possible, sans hypothèse contestable, à l'analyse de cette production.

1° Les combinaisons chimiques sont produites par de véritables forces tout à fait de la nature de l'attraction.

2° Les atomes composés sont formés d'atomes composants réunis par ces forces; ils ne peuvent, par suite, être séparés que par l'application d'un travail mécanique ou la consommation d'une quantité de chaleur équivalente.

3° Nous connaissons très-bien les effets calorifiques qui accompagnent l'apparition de la cohésion entre molécules semblables, qui au point de vue des phénomènes calorifiques et mécaniques ne peut différer de celle qui prend naissance entre les molécules de corps différents. Nous savons que la cohésion ne peut être rompue que par l'emploi d'une certaine quantité de travail mécanique, ou par la consommation d'une certaine quantité de chaleur équivalente dite *chaleur latente*, et que, lorsque cette cohésion s'établit, lorsqu'un corps passe de l'état liquide à l'état solide, il dégage une quantité de chaleur égale à cette chaleur latente.

4° Ce qui est vrai pour les atomes semblables est évidemment vrai également pour les atomes différents. On vérifie à chaque instant le fait de la destruction de la cohésion d'un composé par une certaine quantité de chaleur qui est ainsi consommée à produire ce travail de séparation. Inversement le dégagement de cette chaleur, lors de la naissance de la cohésion chimique du composé, est un fait général qui est constaté lors de chaque combinaison. On ne peut révoquer en doute l'un des deux phénomènes, car nécessairement le résultat est inverse quand la cause agit en sens opposé.

Par une simple extension parfaitement fondée et parfaitement logique de résultats d'expériences, se rapportant aux cohésions entre molécules semblables, pour analyser les cohésions atomiques entre molécules différentes, c'est-à-dire le jeu des mêmes forces, on arrive donc à ce principe fondamental :

Les combinaisons liquides formées entre éléments liquides (pour ne pas tenir compte de leur constitution physique) *produisent le dégagement d'une quantité de chaleur équivalente au travail mécanique qui serait nécessaire pour rompre leur cohésion atomique; les décompositions consomment, au contraire, cette même quantité de chaleur.*

Ce principe, qui ne paraît pas discutable, suffit pour l'analyse du phénomène de la production de la chaleur, pour le mesurer même; si on le combine avec la notion de permanence. On voit qu'il était impossible de la formuler nettement, de comprendre le fait de l'apparition de la chaleur dans les réactions chimiques autrement que ne le faisait Lavoisier, tant que la notion de la corrélation de la chaleur et du travail mécanique dans les actions moléculaires était inconnue, qu'on ignorait qu'une consommation de chaleur correspondait à une production de travail, que la catégorie d'idées qui devait naître de l'étude de la production du travail mécanique par la chaleur n'avait pas pris assez de développement, et que la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur manquait pour tirer parti des chiffres fournis par les expériences connues. C'est là le principe nouveau dont l'application doit changer la face de la science.

Nous examinerons successivement les combinaisons chimiques formées par des corps simples ou des corps dont les atomes sont indivisibles dans les combinaisons étudiées, puis celles qui se rapportent aux corps composés, qui empruntent leurs éléments à la décomposition préalable de semblables corps.

Avant tout, nous devons rapporter les données expérimentales que l'on possède aujourd'hui, les quantités de chaleur qui deviennent sensibles lors de la production de diverses combinaisons chimiques. Elles se réduisent à celles relatées dans le tableau trouvé dans les papiers de Dulong, le travail ayant le plus de portée peut-être de ceux de l'illustre physicien, et par lequel il a terminé son utile et laborieuse carrière; et aux expériences de MM. Favre et Silbermann. Nous les reproduirons ici (voir le tableau à la page suivante), faisant remarquer que la chaleur dégagée, mesurée dans ces expériences, est celle de l'échauffement du corps formé par la réaction chimique lorsqu'on le ramène à la température ordinaire de 15° pour la seconde série, à zéro pour celle de Dulong.

Ce tableau comprend tous les résultats actuellement connus. Des déterminations semblables à celles qu'il renferme devront être faites pour toutes les réactions de la chimie et réunies aux éléments physiques relatifs à chaque corps. Un bon calorimètre propre à effectuer facilement de semblables déterminations doit devenir l'appareil indispensable du laboratoire du chimiste.

COMBINAISONS DE CORPS SIMPLES.

Les corps dont nous voulons étudier les combinaisons sont formés d'atomes chimiques simples, indécomposables; notre manière de raisonner s'appliquera aux corps composés, se comportant comme des corps simples, c'est-à-dire formés d'atomes complexes, mais qui ne se divisent pas dans les réactions considérées ici. Les gaz simples, tels que l'hydrogène, l'oxygène, etc., qui se combinent toujours dans les rapports simples, sont les types de ces corps.

Nous savons, s'ils sont gazeux, que par l'application d'une certaine quantité de travail employé à les comprimer, on peut les ramener à l'état liquide; comme, s'ils sont solides, en leur communiquant une certaine quantité de chaleur (ce qui répond à un travail équivalent) égale à la chaleur latente de ces corps, les amener au même état, cette quantité étant alors consommée comme celle correspondant au travail produisant la liquéfaction des gaz dégagée. Enfin, les liquides ainsi formés, nous savons, par l'emploi des chaleurs spécifiques, les ramener à une même température.

En opérant ainsi, pour les éléments comme pour le composé, on se trouve tenir compte de tout ce qui se rapporte à l'état physique des corps, et considérer fictivement, sans erreur, toute combinaison chimique comme s'effectuant entre corps liquides à une même température, zéro par exemple, et produisant un composé liquide ramené à cette même température. Tous les éléments physiques de production ou de consommation de chaleur étant ainsi éliminés, il ne reste plus à tenir compte que de la combinaison chimique, d'après les principes établis ci-dessus.

Prenons pour exemple la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène pour former de l'eau : nous pouvons représenter par tO, tH, le travail nécessaire pour ramener à l'état liquide, à zéro, un litre de chacun de

CORPS COMBINÉS.	PRODUITS.	CHALEUR DÉGAGÉE.		
		Favre et Silbermann.	Dulong. pour un gramme du corps.	Dulong. pour un gramme d'oxygène.
1 gr. de charbon avec oxygène.	Acide carbonique.	8,086	7,295	2,735
1 gr. diamant avec oxygène.	Idem.	7,770	»	»
1 gr. charbon avec oxygène.	Oxyde de carbone	2,473	»	»
1 gr. hydrogène avec oxygène.	Eau	34,462	34,601	4,325
1 gr. hydrogène avec chlore.	Acide chlorhydrique	23,783	»	»
1 gr. hydrog. protocarboné C^2H^4 avec oxygène.	Eau et acide carbonique.	13,063	13,350	3,337
1 gr. hydrogène bicarboné C^4H^4 avec oxygène.	Idem.	11,857	12,203	3,560
1 gr. éther sulfurique. (C^4H^5O) avec oxygène.	Idem.	9,027	9,431	3,659
1 gr. éther formique. $(C^2H^2)^3O^4$ avec oxygène.	Idem.	»	»	5,278
1 gr. éther acétique. $(C^2H^2)^4O^4$ avec oxygène.	Idem.	»	»	6,292
1 gr. blanc de baleine $(C^2H^2)^{32}O^4$ avec oxygène.	Idem.	»	10,342	»
1 gr. alcool. $(C^2H^2)+H^2O$ avec oxygène.	Idem.	7,183	6,962	3,386
1 gr. soufre avec oxygène.	Acide sulfureux.	2,260	2,601	2,600
1 gr. phosphore avec oxygène.	Acide phosphorique (Lavoisier).	7,500	»	»
1 gr. sulfure de carbone. CS avec oxygène.	Acides sulfureux et carbonique.	3,400	»	»
1 gr. essence de térébenthine avec oxygène.		»	11,567	3,511
1 gr. cyanogène avec oxygène.		»	5,244	»
1 gr. huile d'olive avec oxygène.	Eau et acide carbonique.	»	9,862	»
Fer.	Oxydes.	»	»	4,327
Étain		»	»	4,531
Protoxyde d'étain.		»	»	4,509
Antimoine.		»	»	3,818
Zinc		»	»	5,275
Cobalt.		»	»	3,983
Nickel.		»	»	3,706
Cuivre.		»	»	2,591
Protoxyde de cuivre.		»	»	2,179

ces gaz. Lorsqu'ils se combinent, lorsqu'un litre d'oxygène (pesant 1g,45) se combine avec deux litres d'hydrogène, il se dégage, d'après Dulong, une quantité de chaleur égale à $T = 4^c\,325 \times 1,45 = 6,27$ calories, chaleur qui correspond au nombre d'unités de chaleur communiquées à l'eau produite, à partir de zéro, et qui sera évaluée en travail en multipliant ce nombre par 140.

Nous disposons maintenant d'éléments suffisants pour appliquer le principe de la permanence des forces et trouver l'expression du travail nécessaire pour rompre la cohésion atomique du composé.

En effet, représentons par $\overline{AQ}$ la quantité de travail qui serait nécessaire pour séparer les atomes constituants de l'eau, ce que nous appellerons son équivalent mécanique; nous avons tous les termes de l'équation qu'il est possible d'établir entre les quantités de travail ou de chaleur pour obtenir son équivalent chimique (en prenant pour unité le poids d'un litre d'oxygène), pour exprimer la permanence de la chaleur qui existait avant la combinaison, plus celle engendrée lors que celle-ci s'est effectuée.

Les deux gaz élémentaires ramenés à l'état liquide par la réaction chimique, qui donne naissance à l'eau, dégageront une quantité de chaleur égale à $\frac{tO + 2tH}{140}$, leur état gazeux avait produit l'emmagasinement de cette quantité de chaleur. L'eau formée accusera la chaleur T, et la cohésion atomique aura dégagé, par suite du travail produit par les forces d'attraction, nécessairement égal au travail $\overline{AQ}$ qui serait nécessaire pour les séparer, une quantité de chaleur égale à $\frac{\overline{AQ}}{140}$. Il n'y aura donc permanence de chaleur que si on retrouve dans la quantité de chaleur dégagée, diminuée de celle provenant de la combinaison, une quantité égale à celle qu'eût produite la liquéfaction des gaz, c'est-à-dire qu'on aura l'équation :

$$\frac{tO + 2tH}{140} = T - \frac{\overline{AQ}}{140}$$

ou en quantités de travail :

$$tO + 2tH = T \times 140 - \overline{AQ}.$$

T comprenant la chaleur de liquéfaction de la vapeur d'eau formée, ainsi que celle dégagée par le refroidissement à zéro de la combinaison, à partir de la température produite lorsque la réaction a lieu.

Voyons quelle forme prend cette équation dans les divers cas qui peuvent se présenter.

Supposons d'abord que l'un des corps élémentaires soit solide; nous devrons tenir compte de la chaleur latente de fusion de ce corps, en la faisant entrer dans l'équation avec le signe —, puisque c'est la quantité de chaleur qu'il faut communiquer au corps pour l'amener à l'état liquide, qui est celui considéré dans la combinaison formée. De plus, le corps liquéfié n'ayant pas en général la température zéro, au-dessus et au-dessous de laquelle nous mesurons les températures, il faudra soustraire de cette chaleur latente L le produit (C — c) N, N étant le nombre de degrés du point de fusion, C la chaleur spécifique du liquide provenant de la liquéfaction des corps, c celle du solide. On amènera le solide de zéro au point de fusion, puis il sera liquéfié : on aura ainsi tenu compte de sa cohésion moléculaire; enfin on ramènera fictivement le liquide à la température zéro, à laquelle on compare les phénomènes.

Les mêmes observations s'appliqueraient au composé, s'il était solide.

Supposons qu'au lieu d'être liquide le produit soit gazeux, il faudra ajouter au travail correspondant à la chaleur dégagée le travail nécessaire pour liquéfier le gaz à la température zéro, faire la somme de la chaleur dégagée pendant la réaction, et de celle emmagasinée par le composé gazeux.

Ainsi la réaction qui produit l'acide carbonique s'établira ainsi entre les équivalents des corps élémentaires pour obtenir l'équivalent du composé, en représentant par Ac. carb. le travail qui serait nécessaire pour séparer les éléments d'un équivalent, et par L Car. la chaleur latente de l'équivalent du carbone :

$$-(\text{L Car.} - (C - c)\,N)\,140 + \underline{2\,t\,O} =$$
$$T \times 140 + t\text{Ac. carb.} - \overline{\text{Ac. carb.}}$$

Nous savons que le travail tAc. carb. nécessaire pour liquéfier l'acide carbonique est 57 kilogrammètres par litre.

L'équation de l'acide sulfureux serait de même

$$-(\text{L S} - (C - c)\,N) \times 140 + \underline{2\,t\,O} =$$
$$T \times 140 + t\text{Ac. sulf.} - \overline{\text{Ac. sulf.}}$$

En général $\pm a$, $\pm b$, représentant le travail positif ou négatif nécessaire pour liquéfier les corps simples composants, T la chaleur sensible dégagée par la combinaison, E l'équivalent mécanique du composé, $\pm e$ le travail nécessaire pour l'amener à l'état liquide, à zéro, on a l'équation générale :

$$\pm a \pm b = T \times 140 - E \pm e.$$

L'inspection seule de cette équation permet de tirer plusieurs conséquences importantes.

Elle indique que la quantité de chaleur dégagée pour des états peu différents des composés est, en général, en raison de la nature des éléments; qu'ainsi la combustion de l'hydrogène dégagera beaucoup plus de chaleur que celles du soufre et du carbone. De même tout étant à peu près semblable d'ailleurs, la chaleur dégagée est en général d'autant moindre que le travail propre au composé est plus grand ou inversement. Ainsi on sait, par expérience, que la chaleur dégagée lors de la combinaison du charbon, par exemple, avec une molécule d'oxygène, est plus grande pour la seconde que pour la première. L'équation indique comme conséquence que le second composé doit être le plus aisément liquéfiable (la valeur de e être moindre); ce qui est bien vérifié pour l'acide carbonique et l'oxyde de carbone, etc., faits peu compréhensibles pour les chimistes qui ne tiennent compte que de l'état physique des éléments.

Pour les mélanges de liquides, l'équation devenant $0 = T \times 140 - E$ donne l'équivalent mécanique du mélange, de l'hydrate formé si un des liquides est de l'eau. Ainsi l'observation de la chaleur dégagée par l'acide sulfurique monohydraté dans l'eau donne $0^c,064$ pour 1 gramme, avec un équivalent d'eau, soit, pour 5 grammes, $0,064 \times 140 \times 5 = 45$ kilogrammètres pour un équivalent, l'unité étant 1 gramme d'oxygène, sans qu'il y ait à tenir compte, comme on l'a tenté laborieusement, des effets physiques de contraction ou de dilatation des liquides, qui ne changent qu'en raison de la variation notable des dilatations des liquides dont le point de solidification est différent, pour atteindre une même température.

Pour les gaz dissous, l'équation donne

$$tG = T \times 140 - E,$$

d'où la valeur de E peut être déduite.

Ainsi pour le gaz sulfureux $\frac{tG}{140} = 0,094$ pour 1^g, par expérience on a trouvé $T = 0,1204$, d'où E égale pour 1 grammes, ou un équivalent $= 18^{km},40$.

Pour les solides, il y a nécessairement, lors de la manipulation, addition d'une quantité de chaleur importante qui reste incorporée en grande partie dans le composé le plus souvent, ce qui ne permet pas de rien prévoir d'une manière générale. Ainsi le sulfure de carbone, produit par une réaction entre deux corps solides à la température ordinaire, est obtenu à l'aide d'une quantité de chaleur considérable qui porte le soufre en vapeur sur le charbon incandescent. Il en résulte un produit liquide, et en appelant T la quantité de chaleur ajoutée pour effectuer la combinaison, T' celle qui persiste dans le composé, formé à l'état de vapeur, on peut établir entre les corps ramenés à l'état liquide, à zéro, l'équation :

$$T \times 140 - (\text{LS} - (C - c)\,N)\,140 -$$
$$(\text{L Car.} - (C - c)\,N')\,140 = T' \times 140 - \overline{\text{SC}};$$

Une expérience directe de MM. Favre et Silbermann, et se rapportant au sulfure de carbone, montre bien l'influence des termes qui se rapportent aux chaleurs de fusion des corps solides, qui, pour le charbon notamment, doit être très-grande.

Ces savants, en calculant la chaleur qui devrait être dégagée par la combustion du soufre et du carbone pris à l'état solide, ont appliqué ces chiffres à la détermination de la chaleur que devait produire le sulfure de carbone en raison de sa composition.

Ils ont ainsi trouvé pour la combustion des éléments, pour 1 gramme de sulfure :

S.	$0^{gr},8421 \times 2,220 =$	$1^c,870$
C.	$0^{gr},1579 \times 8,080 =$	$1^c,275$
	Total	3, 146
La combustion directe du sulfure de carbone a produit		3, 400
	Soit en plus	0, 254

C'est-à-dire que bien qu'il se produise une consommation de chaleur par la destruction de la cohésion atomique du sulfure de carbone, comme nous allons l'expliquer ci-après, la quantité négative qui correspond à la chaleur de fusion des corps solides dans la combustion des éléments séparés est plus grande. Ces corps étant à l'état liquide dans le sulfure de carbone, la chaleur nécessaire pour les amener à l'état liquide, à zéro, est donc égale à celle qui correspond à la décomposition du sulfure de carbone (genre d'effet que nous allons étudier dans le chapitre suivant), plus l'excédant indiqué par la différence trouvée ci-dessus.

Au point de vue de la combustion des corps simples, ce qui précède forme une théorie complète de la production de la chaleur, en supposant déterminés les équivalents mécaniques des corps, ou inversement,

donne le moyen, une fois déterminés les autres termes des équations par des expériences de physique, de trouver les équivalents mécaniques des corps, et par suite de constituer la mécanique chimique. Suivons donc cette nouvelle voie, et les résultats auxquels nous arriverons résoudront toujours en même temps les questions relatives à la production de la chaleur, puisque c'est en réalité une seule et même théorie.

RÉACTIONS ENTRE CORPS COMPOSÉS.

Les réactions entre corps composés diffèrent de celles que nous venons d'étudier par la nature complexe des atomes des corps entre lesquels elles se produisent. L'effet de la cohésion qui constitue ceux-ci par la réunion d'atomes simples est de faire que leur décomposition, qui précède la formation du nouveau composé, entraîne une consommation de chaleur correspondante à la quantité de travail mécanique nécessaire pour effectuer la désunion moléculaire.

C'est la conséquence forcée de l'analyse précédente de la combinaison des corps simples.

De même qu'il faut souvent une certaine quantité de chaleur additionnelle pour faire naître des combinaisons, pour rompre les cohésions moléculaires de corps solides et permettre le libre mouvement des atomes qui doivent entrer en combinaison, de même il faut, en général, l'emploi d'une quantité suffisante de chaleur pour rompre les cohésions entre atomes dissemblables, pour leur rendre leur mobilité. Autrement, le plus souvent, toute réaction est impossible.

En effet, si l'on doit dire que les composés prennent naissance dans une réaction chimique en raison des propriétés des éléments simples qui se trouvent en contact, il faut toutefois poser cette restriction : que ces éléments puissent se mouvoir librement, soient en état de produire le travail qui appartient à leur nature propre ; ce qui n'est pas possible, en général, sans addition de chaleur étrangère, à cause de la chaleur antérieurement dissipée, lorsque se sont effectuées les combinaisons qui ont produit les corps mis en présence.

Ainsi, si l'eau fait partie des éléments qui devront servir à une nouvelle combinaison, en étant d'abord décomposée, on devra faire entrer dans l'équation qui permettra de calculer la quantité de chaleur dégagée, non pas le travail $2tH + tO$ nécessaire pour liquéfier les éléments de l'eau, ni celui $T \times 440$ qui répond à la chaleur qui a été dégagée ; mais $\overline{AQ}$ représentant le travail nécessaire pour séparer les éléments de l'eau ou la chaleur équivalente $\frac{AQ}{440}$ qui le produit, ou enfin son expression $\frac{\overline{AQ}}{440} = \frac{-tO-2tH}{440} + T$ expression de la quantité nécessaire pour reconstituer l'oxygène et l'hydrogène libres à l'état liquide, pour que l'eau abandonne en liberté les éléments qui lui ont donné naissance.

De même pour le sulfure de carbone, le travail $\overline{SC}$ correspondant à la rupture de la cohésion atomique devra être déduit de l'équation donnée précédemment.

Par de semblables substitutions, on pourra, sans négliger aucune quantité de chaleur, établir l'équation qui donnera celle qui répond à une nouvelle combinaison précédée de décompositions, dans laquelle n'entreront, avec l'équivalent mécanique de cette combinaison, que des quantités connues ou qui appartiennent aux corps simples.

La forme générale de l'équation dans laquelle pourront être introduites ces valeurs équivalentes est d'ailleurs la même que celle établie pour les corps simples, dans le cas de combinaisons dans lesquelles entrent des éléments solides, la cohésion des atomes des corps composés remplaçant celle des corps solides.

Soient $\overline{A}$ et $\overline{B}$, les équivalents mécaniques des corps composés entre lesquels la réaction a lieu, dont la décomposition exige des quantités de travail représentées par $-\overline{A}, -\overline{B}$, a, b, les quantités de travail nécessaires pour les amener à l'état liquide, à la température zéro, $-A \pm a$, $-B \pm b$, représenteront les quantités de travail qui seront consommées lorsque les éléments entreront dans une nouvelle combinaison ($+a$, $+b$ se rapportant à l'état gazeux diminueront ces quantités). Si $\pm T$ représente la chaleur dégagée ou absorbée par la nouvelle réaction, E l'équivalent mécanique du composé dégageant une quantité de chaleur en raison de sa grandeur, $\pm e$ la quantité de travail nécessaire pour l'amener à l'état liquide, à zéro, on aura l'équation :

$$-\overline{A} \pm a - \overline{B} \pm b = T \times 440 - \overline{E} \pm e.$$

La quantité T (si la réaction peut avoir lieu sans chaleur étrangère) est toujours positive, de signe contraire avec E, puisque la chaleur dégagée du fait de la cohésion atomique est comprise dans la chaleur totale dégagée, $\overline{A}$ et $\overline{B}$ sont de signes contraires avec $\overline{E}$ (du même côté du signe =), puisque les cohésions atomiques $\overline{A}$ et $\overline{B}$ consomment de la chaleur, sont détruites, quand $\overline{E}$ dégage de la chaleur en prenant naissance.

L'équation fondamentale ci-dessus permet d'établir, à l'aide d'une expérience calorimétrique, l'équivalent mécanique d'un corps produit par une réaction entre corps dont les équivalents sont connus ; les quantités a, b, e, répondant à l'état physique des corps, étant également déterminées par expérience.

Lorsque l'équivalent du corps aura été obtenu au moyen d'autres réactions, l'équation donnera la mesure de la chaleur dégagée, en un mot, pourra servir à calculer un terme quelconque de l'équation, difficile à obtenir directement. Suivant les cas, le travail de liquéfaction d'un gaz ou la chaleur latente d'un solide sera l'inconnue qu'elle permettra de déterminer. Renfermant tous les éléments qui sont propres à un corps, qui répondent à sa nature intime, elle fournit les relations qui existent entre les phénomènes moléculaires et les effets calorifiques ; elle permet par suite de déterminer un terme inconnu quand les autres sont connus.

J'ai supposé plus haut que les molécules complexes des éléments se décomposaient pour former le composé nouveau. Souvent il n'en est pas ainsi, dans la formation des sels, par exemple. On doit raisonner alors comme dans le premier cas, et l'équation ci-dessus se réduit à :

$$\pm a \pm b = T \times 440 - \overline{E} \pm e$$

déjà donnée précédemment.

REMARQUES SUR LES ÉQUIVALENTS MÉCANIQUES DES CORPS SIMPLES ET DES CORPS COMPOSÉS.

L'équivalent mécanique d'un corps composé étant défini : la quantité de travail mécanique nécessaire pour détruire la cohésion qui réunit ses atomes, comment peut-on définir l'équivalent mécanique d'un corps simple ? C'est la fraction de l'équivalent mécanique du composé qui provient de chacun des éléments.

Ainsi, si nous considérons les combinaisons (équivalent à équivalent) de l'oxygène avec divers corps simples, a, b, c... (tous ramenés à une même température et à l'état liquide) ; les équivalents de ces composés étant $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{C}$..., $\overline{O}$ étant l'équivalent mécanique de l'oxygène $\overline{\alpha}$, $\overline{\beta}$, $\overline{\gamma}$..., ceux des corps simples a, b, c..., si l'on pose : $\overline{O} + \overline{\alpha} = \overline{A}$, $\overline{O} + \overline{\beta} = \overline{B}$, $\overline{O} + \overline{\gamma} = \overline{C}$... ; on doit pouvoir déduire d'un nombre suffisant de semblables équations les valeurs des équivalents mécaniques des corps simples, dont la somme donnerait l'équivalent mécanique du composé, comme cela a lieu pour les équivalents chimiques.

Mais l'équivalent du corps simple, la partie du travail mécanique nécessaire pour détruire le composé qui appartient à chaque élément dans les combinaisons est-elle constante? Analysons, en nous limitant aux combinaisons parfaitement normales (nous examinerons ci-après celles qui ne sont pas dans ce cas), comment les choses se passent lors d'une combinaison.

Considérons deux molécules, M, m, de masse différente qui se combinent et qui possèdent des forces d'attraction différentes entre elles (quelle qu'en soit la cause ou la nature), dont les valeurs moyennes sont F, f. La molécule de masse M attirera chaque élément de celle de masse m avec une puissance f M (toute molécule matérielle supportant de la même manière une attraction, comme le prouve l'égalité d'action de la pesanteur sur tous les corps qui ne dépend que de leur masse), et la molécule entière avec la force $f\,Mm$. Également la seconde agit sur la première avec une force égale à F mM. Le travail de combinaison, générateur de chaleur, de forces vives, consiste dans le travail de ces forces, agissant également sur chaque molécule le long d'un certain chemin, c'est-à-dire est égal à $f\,M\,m\,g + F\,m\,M\,g'$.

Le travail dû au corps dont la molécule est M, agissant sur l'unité de masse, ce que nous appellerons son équivalent mécanique est $f\,Mg$, et celui correspondant à la seconde est $F\,mg'$; la somme ci-dessus représentant l'équivalent mécanique du composé égale donc la somme des équivalents mécaniques des deux corps élémentaires, respectivement multipliée par la masse de la molécule avec laquelle chacun se combine, les chemins réellement parcourus étant proportionnels à l'inertie des masses résistantes.

La masse de l'équivalent de l'oxygène étant prise pour unité, on ne devra donc pas écrire, comme nous l'avons indiqué, $O + \alpha = \overline{A}$, $O + \beta = \overline{B}$, mais bien $O\,p + \alpha = \overline{A}$, $O\,p' + \beta = \overline{B}\ldots$, p, p' étant les masses des équivalents chimiques des corps a, b...

Les équivalents chimiques des corps étant connus, on obtiendra donc aisément le produit de l'équivalent mécanique d'un corps simple multiplié par la masse de l'équivalent chimique du corps auquel il se combine, en opérant comme nous venons de le dire. Ce sont ces produits que nous confondrons ici volontairement avec les équivalents mécaniques des éléments dont il est aisé de les déduire, sans qu'il puisse résulter d'erreurs pour les déductions que nous avons à tirer de cette manière d'analyser les équivalents mécaniques des composés.

Composés normaux. — Nous poserons, par exemple, pour la combinaison de l'eau :

$$\overline{O} + 2\overline{H} = \overline{AQ}$$

remplaçant AQ par la valeur déterminée plus haut $T \times 140 - tO - 2\,tH$, il vient :

$$\overline{O} + tO + 2\overline{H} + 2\,tH = T \times 140$$

et en général pour deux corps simples dont les équivalents mécaniques sont A et B, et qui forment par leur combinaison un corps dont l'équivalent mécanique est E, en dégageant la chaleur T, on peut poser :

$$\overline{A} \pm a + \overline{B} \pm b = T \times 140 \pm e$$

a, b, e étant des quantités analogues à tO, en quelque sorte les équivalents physiques des corps.

De semblables équations se vérifieront pour les combinaisons régulières, normales.

Composés anormaux. — Dans beaucoup de combinaisons, tantôt la cohésion moléculaire n'atteint pas le degré qu'elle pourrait atteindre, tantôt il se forme des cohésions accessoires entre les molécules similaires. Tout se passe, relativement à la chaleur dégagée par la combinaison : dans le premier cas, comme si de la chaleur restait emprisonnée dans le composé obtenu, relativement au composé normal avec lequel on le confond ; dans le second, comme si l'effet inverse avait lieu. Nous donnerons d'abord un exemple du second cas.

1° *Par manque de chaleur.* — En cherchant les quantités de chaleur dégagées, lors de leur combustion, par les carbures d'hydrogène dont la composition rentre dans la formule générale $H^{2n}\,C^{2n}$, et dont les états physiques sont à peu près semblables, MM. Favre et Silbermann ont trouvé les résultats suivants :

Amylène	($C^{10}\,H^{10}$)	— 11,491
Paramylène	($C^{20}\,H^{20}$)	— 11,303
Carbure bouillant à 180°.	($C^{30}\,H^{30}$)	— 11,262
Cetène	($C^{32}\,H^{32}$)	— 11,055
Metamylène	($C^{40}\,H^{40}$)	— 10,938

Ces nombres conduisent à cette loi : chaque fois que les éléments du carbure type ($C^2\,H^2$) entrent une fois de plus dans la constitution d'un nouveau carbure isomère, la chaleur de combustion diminue de 0c,0378.

Ce remarquable résultat signifie évidemment qu'à mesure que la combinaison est plus éloignée du type le plus simple, auquel elle se réduit par l'action d'une température élevée, lorsque l'on détruit ce qui constitue ces corps, c'est-à-dire leur création particulière par l'action lente des forces d'affinité agissant dans les délicats appareils organiques, de telle sorte que les atomes composés se sont non-seulement formés, mais encore soudés ensemble, groupés en molécules, on consomme un travail plus grand que celui qui existerait sans cette cause. La différence est la quantité de la chaleur nécessaire pour rompre la cohésion de ce groupement. C'est cette quantité de chaleur qui ne se retrouve pas lorsque la combustion des éléments en cause la séparation, et qui produit la différence reconnue ici, qui équivaut à une diminution de chaleur relativement au corps considéré comme formé d'atomes non groupés en molécules, et est mesurée par la différence entre l'équivalent mécanique réel qui augmente d'une quantité mesurée par la diminution de chaleur, et celui obtenu par la somme des équivalents mécaniques des éléments. En réalité, il n'y a pas ici de composé anormal, mais cohésion physique dans le groupe moléculaire, correspondant à une quantité de chaleur latente absorbée lors de la décomposition, en sus du phénomène chimique de combinaison.

2° *Par excès de chaleur.* — Dans ce cas, dans les combinaisons qui forment une classe de corps probablement très-nombreux, comprenant surtout des corps qui prennent naissance comme accessoires d'autres réactions, c'est l'effet inverse du précédent qui est produit, et leur combustion paraît dégager plus de chaleur que celle qui répondrait aux équivalents mécaniques de leurs éléments. C'est ce que montre notamment la série des acides gras, dont la combustion dégage plus de chaleur, pour un même poids, que les corps plus stables dont la composition est représentée par une formule semblable.

On peut de tout point comparer ces composés entre molécules différentes au soufre mou formé par des molécules semblables que la force d'attraction n'a pas amené à l'état solide, lorsque le chemin g n'a pas été complétement parcouru. Comme dans ce cas où la cohésion entre molécules similaires étant incomplète relativement à celle des molécules du soufre dur, le corps ne peut passer à cet état sans dégager de la chaleur latente, comme dans tout passage de l'état liquide à l'état solide ; de même, dans le cas actuel, relativement à un composé ayant les mêmes éléments et supposé solide, il doit être considéré comme renfermant de la chaleur latente emmagasinée ; ce qui revient au même que de dire plus exactement que de la chaleur se dégagera lorsque le corps passera réellement à l'état solide.

Une analyse attentive conduit donc à considérer cet ordre de phénomènes comme résultant de la nature

liquide de la molécule complexe formée par les atomes élémentaires, car c'est à cela que revient un emmagasinement suffisant de chaleur, et à en chercher la cause dans les obstacles qui empêchent les forces d'attraction de produire complétement leur effet. Nous avons vu, en parlant des décompositions qui accompagnent les réactions entre corps composés, qu'il faut toujours une quantité déterminée de chaleur pour que les atomes qui sortent d'une combinaison retrouvent leur mobilité. Lors donc que cette condition n'est pas satisfaite, la combinaison ne peut être régulière.

Nous avons admis jusqu'ici que les atomes élémentaires d'une molécule chimique composée constituaient par leur réunion un petit corps solide, et il est bien clair qu'il doit en être presque toujours ainsi, puisque le composé ne prend ordinairement naissance que parce que les atomes libres de se combiner se trouvent en présence et sont susceptibles d'obéir aux forces d'attraction, liberté qui conduit à la production d'une cohésion atomique.

Mais de même que les molécules de même nature ne constituent pas seulement des corps solides, malgré l'existence des forces d'attraction ; que par l'action de la chaleur les corps solides passent à l'état liquide, puis à l'état gazeux, les mêmes phénomènes se produisent nécessairement sur les atomes qui constituent la molécule chimique lorsqu'on élève suffisamment la température. On sait, en effet, que la chaleur est le moyen par excellence pour décomposer les molécules complexes, et au moment où la séparation des atomes élémentaires s'effectue, ils sont les uns par rapport aux autres exactement dans le même état que les molécules similaires d'un gaz entre elles ; et auparavant elles ont passé par l'état liquide qui a une certaine stabilité. L'action de la chaleur ou le non-dégagement de celle qui eût dû se manifester conduisent au même résultat.

Il n'y a donc aucune difficulté à admettre des corps composés dont les molécules, au moins à une certaine température, sont liquides ; qui peuvent par suite être désunies avec une extrême facilité. Cette liquidité correspond d'ailleurs à une quantité de chaleur considérable ; c'est, relativement au cas d'une combinaison atomique solide supposée exister, une véritable quantité de chaleur latente de fusion qui est emmagasinée et qui fournit la raison et la mesure des phénomènes observés.

Cherchons comment on pourrait déterminer cette quantité de chaleur, ou, ce qui est la même chose, la différence entre l'équivalent mécanique réel du protoxyde d'azote, par exemple, et celui résultant de la somme des équivalents mécaniques des éléments représentés par $\overline{OAz}$. La formation de ce composé normal serait représentée par la formule suivante (en volumes) :

$$tO + 2tAz = 2T \times 140 - 2\overline{OAz} + 2tOAz.$$

En réalité, au lieu de $\overline{OAz}$, l'équivalent mécanique du protoxyde d'azote est $E = \overline{OAz} - T' \times 140$, T' étant une quantité de chaleur latente incorporée, et l'équation devient :

$$tO + 2tAz = 2(T - T')\,140 - 2E + 2tOAz.$$

$T - T'$ sera la chaleur observée, qui permettra de déterminer T', T étant déterminé théoriquement par la première équation.

On raisonnera de même pour l'eau oxygénée ; et, dans ce cas, l'instabilité du composé, qui ne peut subsister qu'à basse température, la grandeur de la chaleur observée lors de la décomposition (1°349 par gramme d'oxygène), et le dégagement d'un gaz aussi stable que l'oxygène, indiquent bien que de grands changements dans les états moléculaires peuvent seuls fournir l'explication de ce curieux phénomène.

Conséquences de cette distinction. — Lorsque l'on connaîtra les équivalents mécaniques des principaux corps, on voit que dans tous les cas analogues aux précédents on tirera la valeur des quantités T' d'équations semblables à la précédente, ou, si l'on aime mieux, la différence entre les équivalents mécaniques théoriques et ceux qui appartiennent à ces composés. Ces quantités, leur grandeur et leur sens positif ou négatif, viendront rendre raison, donner la mesure de phénomènes tout à fait mystérieux dans l'état actuel de la science. On pourra enfin analyser les questions de groupements atomiques, d'états de cohésion particuliers, d'isomérie, etc. ; et porter la lumière dans les parties les plus obscures, aujourd'hui, de la chimie.

Ces grands résultats et tant d'autres que procurera la comparaison des *qualités* des corps avec les *quantités* de travail mécanique qui les expliquent, seront obtenus en mesurant les effets calorifiques que les chimistes négligent systématiquement aujourd'hui. Les plus éminents d'entre eux sentent bien que ces effets sont en rapport avec les forces en jeu et peuvent seuls conduire à leur mesure ; mais on ne savait pas établir ce rapport et l'inutilité des efforts tentés jusqu'ici avait fait renoncer à ce genre de recherches les savants peu nombreux qui avaient pu en entrevoir l'importance extrême.

On se rapprochera ainsi du but assigné à la chimie par Lavoisier, trop oublié de nos jours, en complétant les moyens de mesure, c'est-à-dire ce qui peut constituer la science véritable, permettant de prévoir et d'évaluer. Après avoir énuméré les forces qui interviennent dans les combinaisons (et en premier lieu la chaleur), il ajoute : « Connaître l'énergie de toutes ces forces, parvenir à leur donner une valeur numérique, les calculer, est le but que doit se proposer la chimie : elle y marche à pas lents, mais il n'est pas impossible qu'elle y parvienne. »

Je ne m'étendrai pas davantage sur ces résultats. En cherchant à trop devancer les expériences, je craindrais de donner un caractère hypothétique à cette exposition de principes certains, destinés à servir de point de départ à des recherches fécondes en découvertes de toute nature.

Équivalents de divers ordres. La détermination des équivalents mécaniques au moyen des réactions entre molécules complexes qui ne se décomposent pas, qui agissent comme corps simples (la séparation d'un acide et d'une base formant un sel, par exemple) conduit à d'autres valeurs que celles obtenues en les considérant comme le résultat de la combinaison de leurs éléments simples. Il en résulte des équivalents de second ordre. Ainsi, l'équivalent mécanique de l'acide sulfurique $\overline{SO^3}$ considéré comme formé de soufre et d'oxygène sera différent de l'équivalent $\overline{\overline{SO^3}}$, représentant l'acide sulfurique d'un sel. Cela est parfaitement conforme aux faits, et il est certain que le travail des forces d'affinité nécessaire pour constituer certains corps neutres est très-différent à une même température de celui que ces corps peuvent produire en entrant dans d'autres combinaisons. M. Dumas cite dans sa Philosophie chimique la différence des forces qu'il faut mettre en jeu pour décomposer des silicates ou pour isoler le silicium. Les exemples pourraient être multipliés à l'infini.

Ces deux ordres d'équivalents, loin d'obscurcir la science, procureront d'importantes lumières sur les phénomènes de combinaison. Les résultats calorifiques de leur étude indiqueront l'équivalent qui devra être employé, c'est-à-dire s'il y a ou non décomposition des éléments, et permettront de répondre à la question la plus ardue peut-être de la chimie aujourd'hui.

DE LA DÉTERMINATION DES ÉQUIVALENTS MÉCANIQUES DES CORPS.

Il résulte de ce qui précède que si l'on possédait toutes les données qui se rapportent à la nature phy-

nique des corps, on aurait aussitôt, par de simples déterminations calorimétriques, les équivalents mécaniques, d'abord des combinaisons binaires des corps simples, puis, de proche en proche, des corps complexes produits par les réactions les plus compliquées.

Ce résultat immense, dont les conséquences pour les progrès de la chimie sont incalculables, semble donc facile à obtenir aujourd'hui.

Malheureusement, dans l'état actuel de la science, les données fondamentales pour le cas le plus important, pour déterminer la cohésion des composés produits par la combustion, nous font défaut. Nous possédons bien (et pour ce seul cas) le premier élément de la solution, la belle série de recherches dans laquelle Dulong a déterminé la chaleur dégagée par la combustion dans l'air des principaux combustibles, mais il ne permet pas d'utiliser l'équation correspondante à chaque cas qui renferme, avec l'inconnue à déterminer, l'équivalent mécanique du composé, une autre inconnue dont la valeur est considérable, le travail nécessaire pour la liquéfaction de l'oxygène, que M. Faraday a soumis inutilement à un froid de — 110° combiné avec une pression de 27 atmosphères.

Avant de discuter comment cette difficulté peut être tournée et aussi quelles conséquences peuvent être déjà déduites des nombreuses expériences de MM. Favre et Silbermann sur le même sujet, on voit que la détermination des équivalents mécaniques peut être obtenue dès à présent dans tous les cas où l'équation se rapporte soit à des gaz qu'on sait liquéfier, l'acide carbonique, le gaz sulfureux, l'ammoniaque, etc., soit à des liquides, soit à des solides dont la chaleur latente est connue ou facile à obtenir.

Le nombre des déterminations possibles dès aujourd'hui est donc très-grand et exigera le labeur de bien des savants; nul doute qu'il n'en sorte une connaissance de lois secondaires qui permettront de fonder des analogies, de prévoir des résultats, enfin de trouver des voies indirectes qui conduiront aux valeurs des éléments physiques qui manquent encore.

Quand on réfléchit à la route à suivre pour arriver au but, il semble que, au lieu d'opérer comme nous l'avons supposé, il y aurait avantage à détruire, surtout à l'aide de l'électricité, les cohésions qui existent entre les atomes des corps composés.

Mais il est facile de voir qu'en dirigeant les recherches dans cette voie, il n'en résulterait qu'un nouveau moyen d'expérimentation qui peut toutefois être souvent très-précieux, pour déterminer ce qui est obtenu lorsqu'on mesure la quantité de chaleur qui se dégage d'une combinaison, lorsqu'elle peut être produite directement.

En effet, les deux forces qui peuvent être employées pour détruire les corps composés sont la chaleur ou l'électricité, dont les effets sont différents, mais soumis, cela est incontestable aujourd'hui, à la loi d'équivalence. Le principe de la permanence des forces le rend logiquement nécessaire, et le progrès de l'expérimentation, la meilleure définition des unités comparables, permet de l'établir d'une manière plus certaine chaque jour.

Considérons une décomposition quelconque produite par un de ces agents. Elle exigera la consommation d'une quantité d'électricité ou d'une quantité de chaleur propre à rompre les cohésions. Or, quelle sera cette quantité? Évidemment une quantité égale ou infiniment peu supérieure à celle qui s'est dégagée lors de la combinaison. Ainsi l'équation de la production de l'eau étant :

$$AQ = T \times 140 - tO - 2tH$$

évidemment l'électricité correspondant à la chaleur T, ou cette chaleur même, rendra seule la combinaison complétement instable, produira l'état d'équilibre, et le moindre excédant fera dégager de l'oxygène et de l'hydrogène libres.

En d'autres termes, la détermination que l'on obtiendra en mesurant la chaleur ou l'électricité équivalente qui produisent la décomposition, sera précisément celle qui se dégage lorsque la combinaison est produite. C'est une seconde voie ouverte aux expérimentateurs pour obtenir une même détermination, fort utile dans beaucoup de cas, mais ce n'est pas une ressource pour obtenir un nouvel élément de la question.

En résumé, on ne connaît pas et il n'est pas indispensable (bien que toutefois cela puisse être utile sans fournir de résultats différents) d'employer d'autres méthodes que les procédés calorimétriques connus pour mesurer les quantités de chaleur dégagées dans les réactions chimiques, et en déduire, pour un très-grand nombre de cas, la détermination des équivalents mécaniques, c'est-à-dire amener la chimie à une constitution définitive.

Ceux-ci obtenus pour tous les cas, la théorie de la production de la chaleur par action chimique sera complète, et dans chaque cas, une équation permettra de déterminer la quantité de chaleur dégagée ou absorbée.

Expériences faites. — Les beaux mémoires de MM. Favre et Silbermann, auxquels nous avons déjà beaucoup emprunté, fournissent des éléments qui permettent de considérer déjà un certain nombre d'équivalents comme obtenus avec assez de précision.

Examinons d'abord le cas le plus simple, celui de la combinaison de bases puissantes, la potasse et la soude, par exemple. Le travail en jeu pour produire ces combinaisons étant bien moindre que celui capable de décomposer les composés binaires qui en font partie (c'est là l'explication de la loi de dualisme qui s'applique si souvent en chimie), on ne saurait douter que ces combinaisons ne soient binaires, ne soient formées par l'acide et la base, sans décomposition aucune, se comportant exactement comme des corps simples.

MM. Favre et Silbermann ont trouvé, pour la combinaison de 1 équivalent de potasse ou de soude avec 1 équivalent des acides ci-après, l'unité d'équivalent étant 1g d'hydrogène, les quantités de chaleur suivantes :

ACIDES	sulfurique	azotique	chlorhydriq.	iodhydrique
Potasse. .	16,083	15,510	15,656	15,698
Soude. . .	15,810	15,283	15,128	15,097
ACIDES	phosphorique	acétique	citrique	oxalique.
Potasse. .	16,920	13,973	13,658	14,156
Soude. . .	15,655	13,600	13,178	»

Ces nombres doivent fournir une valeur des équivalents mécaniques assez approchée.

En effet, la réaction entre l'acide liquide et le corps solide serait :

$$-(L.\,Ko - (C - c)\,N)\,140 = T \times 140 - \overline{Ko\,AC} - (L\,Ko\,AC - (C - c)\,N')\,140$$

Si on considère que la potasse et les sels de potasse sont facilement fusibles et qu'on admette que leur chaleur latente est la même, ce qui est à peu près vrai, et les points de fusion très-peu différents; qu'on néglige également l'intervention de l'eau qui n'est pas décomposée et reste dans le composé comme elle était dans les composants, on voit que l'on aura :

$$T \times 140 = \overline{Ko\,Ac}.$$

c'est-à-dire qu'on aura une valeur approchée des équivalents mécaniques des différents sels en multipliant les nombres ci-dessus par 440, ce qui donnera pour les sulfates de potasse et de soude 2251^{km} et 2213^{km}, et pour les acétates des mêmes bases 1956^{km} et 1814^{km}, et en prenant comme à l'ordinaire pour unité d'équivalent 8 d'oxygène 281,4 et 277 pour les premiers, 234 et 230 pour les seconds.

Ces chiffres sont bien conformes à ce qu'on sait : que la potasse est une base plus énergique que la soude, et l'acide sulfurique un acide plus énergique que l'acide acétique.

Par des observations analogues sur la formation de sels ayant pour base les divers oxydes métalliques, MM. Favre et Silbermann ont déterminé les quantités de chaleur dégagées dans la formation de sels solubles. Il n'est plus admissible de considérer ces quantités comme fournissant des valeurs bien exactes des équivalents mécaniques ; les différences entre ces chiffres et les chiffres réels sont toutefois probablement assez faibles pour qu'on puisse penser que les rapports de ces nombres sont semblables à ceux des équivalents mécaniques. Voici ce tableau que nous complétons par la dernière colonne.

BASE À UN ÉQUIVALENT D'OXYGÈNE	Équivalents de la base (H = 1 gr.)	Unités de chaleur dégagées avec l'équivalent d'acide sulfurique (40 gr.)	Équivalents mécaniques rapportés à l'oxygène = 1 gr.
	gr.		km.
Potasse.	47	16,083	281
Soude	31	15,810	277
Oxyde d'ammonium.	26	14,690	257,75
Magnésie.	20	14,440	252,7
Oxyde de manganèse	35	12,075	211,3
— de nickel . . .	38	11,932	208,8
— de cobalt . . .	38	11,780	206,25
— de fer.	36	10,872	190,25
— de zinc	41	10,455	182,95
— de cadmium. .	64	10,240	179,20
— de cuivre . . .	40	7,720	135,10

Ces valeurs, qui se rapportent aux composés binaires résultant de la combinaison de l'acide et de la base, sans décomposition de leurs éléments, sont assez conformes à ce que l'on sait des affinités chimiques pour montrer qu'elles ne doivent pas être éloignées des valeurs réelles. Ce que l'on connaît des chaleurs latentes de corps semblables à ceux dont il s'agit ici, montre que les quantités négligées ne doivent pas pouvoir beaucoup modifier les chiffres de la dernière colonne.

Nous ne parlerons pas ici d'une partie très-considérable des mémoires de MM. Favre et Silbermann dans laquelle ils ont cherché à déduire des chaleurs dégagées dans des réactions produites par voie humide, ce qu'ils appellent les équivalents calorifiques des corps. En effet, pour tirer parti de ces observations, il faut tenir compte de la décomposition de l'eau, ce qu'ils font en la considérant comme causant l'absorption d'une quantité de chaleur égale à celle dégagée lors de la formation de l'eau, c'est-à-dire, avec la notation adoptée plus haut, ils prennent T au lieu de

$$\frac{AQ}{440} = T - \frac{4O}{440} - \frac{2H}{440}.$$

Il n'est pas étonnant d'après cela qu'ils n'aient pas pu obtenir les résultats importants auxquels ils espéraient parvenir.

Ces expériences ne pourraient être utilisées que si on connaissait le travail qui peut produire la liquéfaction de l'oxygène, puisque dans les oxydations par voie humide l'oxygène seul ne se dégage pas, reste à l'état liquide, tandis que l'hydrogène se dégage, en absorbant une grande quantité de chaleur, et que par suite la chaleur absorbée par la décomposition de l'eau, dans ces expériences, est égale à $\frac{AQ}{440} + \frac{2H}{440} = T - \frac{4O}{440}$ valeur bien différente de celle de T.

Expériences à faire. — Il me reste à établir que la solution du problème dans toute sa généralité est plus abordable qu'il ne paraît à première vue, et que l'on pourra trouver plusieurs moyens d'obtenir des résultats approchés, puis de les vérifier, et d'arriver par suite, de proche en proche, à la précision que réclame la science.

Comme on ne connaît ni les chaleurs latentes de fusion de beaucoup de solides difficilement fusibles, ni le travail nécessaire pour produire la liquéfaction de plusieurs gaz, qu'on ignore très souvent la valeur de ces éléments physiques, le problème de la détermination des équivalents mécaniques d'un grand nombre de corps paraît insoluble. En effet, l'équation qui représente alors le phénomène chimique ne permet pas de l'obtenir, puisqu'elle renferme deux inconnues au moins, l'équivalent mécanique du composé plus l'élément physique inconnu ; chaque équation renferme donc nécessairement au moins une inconnue nouvelle.

Mais si la détermination directe des inconnues du ressort de la physique échappe à l'état actuel de la science (et les moyens d'action seront toujours nécessairement insuffisants pour la solution complète), il n'en est pas de même des moyens indirects, c'est-à-dire qui peuvent fournir le moyen de mesurer des effets dépendant de la quantité inconnue et par suite de calculer celle-ci : problème difficile sans doute, mais parfaitement soluble.

Nous avons déjà vu que, dans beaucoup de cas, les chaleurs latentes pouvaient se déduire de l'élasticité des solides par une voie indirecte, bien précieuse, et qui fournit une solution satisfaisante dans le cas des corps fondus. Je chercherai maintenant à indiquer la voie indirecte à suivre pour l'autre cas, plus important encore, dans lequel les données physiques font défaut. Il me semble que l'étude de l'absorption des gaz par les corps poreux pourrait conduire à une première approximation du travail de liquéfaction des gaz que nous ne savons pas liquéfier, ce qui conduirait à calculer les éléments de la relation capitale qui représente la composition de l'eau, qui comprend les quantités de travail inconnues qui sont nécessaires pour liquéfier l'oxygène et l'hydrogène. Voyons comment on devrait opérer.

Soit S la surface par laquelle un corps poreux agit par attraction sur un gaz dans lequel il est plongé, il est évident que le nombre V de volumes condensés à sa surface sera directement proportionnel à l'étendue de cette surface, et inverse de la résistance R, d'autant plus grand que cette résistance à la liquéfaction sera moindre. Comme d'ailleurs l'action de cette surface est en raison de la masse des molécules sur laquelle elle agit, elle sera proportionnelle à la densité du gaz (Henry a trouvé par expérience que l'absorption était proportionnelle à la pression, ce qui revient au même) ; si nous appelons K un coefficient constant, on pourra poser l'équation $V = \frac{KSd}{R}$ ou $\frac{VR}{d} = KS$. Pour un autre gaz $\frac{V'R'}{d'} = KS$, donc : $\frac{VR}{d} = \frac{V'R'}{d'}$, équation qui permettra, au moyen du travail connu pour la liquéfaction de quelques gaz, de déterminer les autres par de simples comparaisons entre les quantités absorbées par un même corps solide.

On peut bien contester que la relation admise ici

soit en réalité aussi simple que nous le supposons ; elle est sans doute plus compliquée, mais on peut considérer l'expression ci-dessus comme le premier terme et sûrement le terme capital de la véritable fonction développée, et par suite comme fournissant une première approximation que les vérifications résultant d'applications permettront de vérifier. La différence principale réside sans doute dans un facteur variable en raison de la nature des corps condensants, c'est un élément qui pourrait encore s'éliminer par de nombreuses expériences entre corps de nature différente[1].

Malheureusement nous n'avons guère d'expériences sur l'absorption des gaz par les solides. Une seule série répétée dans les divers livres de chimie, mais qui malheureusement n'a pas été contrôlée avec le degré d'exactitude que les bons expérimentateurs savent apporter aujourd'hui aux expériences de physique, est due à Th. de Saussure et se rapporte aux gaz ci-après. Il faudrait la répéter pour d'autres corps tels que la pierre-ponce, l'éponge de platine, qui donneraient lieu à des absorptions en proportions un peu différentes pour les divers gaz, ce qui permettrait de dégager les actions physiques générales des actions chimiques particulières.

Voici les nombres qu'elle fournit :

$\frac{V}{d}$	Densité.	Un volume de charbon de bois a condensé (le vide correspondant à 5/8 environ du volume) :	Travail à pour la liquéfaction d'un litre.	Produit $\frac{VS}{d}$
	gr.		km.	
22,3	2,839	65 vol. acide sulfureux . .	34	758
35	1,54	55 vol. acide sulfhydrique.	44	1550
20	1,95	40 vol. protoxyde d'azote.	56	1120
18	1,98	35 vol. acide carbonique. .	57	1025
27,5	1,275	35 vol. hydrogène carboné.	58	1595
7,6	1,243	9,42 vol. oxyde de carbone.	160	par calcul
6,5	1,433	9,25 vol. oxygène.	202	
5,9	1,268	7,5 vol. azote.	208	
20	0,088	1,75 vol. hydrogène. . . .	61	

Prenant la moyenne des quatre derniers chiffres, nous avons 1225, qui, admis comme première approximation s'appliquant à tous les gaz, nous donne le travail de liquéfaction des quatre gaz, que l'on ne peut liquéfier en réalité, en donnant la valeur supposée constante du produit $\frac{VR}{d}$, $\frac{V}{d}$ étant une quantité connue expérimentalement.

Le nombre obtenu ainsi pour l'hydrogène n'est pas admissible ; car bien que ce gaz s'écarte de la loi de Mariotte, M. Faraday aurait pu le liquéfier dans ses expériences si ce chiffre était exact, même en tenant compte de la restriction sur la température du passage de l'état liquide à l'état gazeux, sous un même volume, indiquée à l'article LIQUÉFACTION, point qui serait reconnu d'ailleurs par la marche de la compression. Nous devons penser que 1,75 est trop faible, et que le charbon de bois, déjà hydrogéné, ne convient pas pour ce gaz, comme le prouveraient des expériences faites avec d'autres corps. Montrons, en attendant, la manière de raisonner, en adoptant provisoirement le chiffre 70, la manière de faire des calculs auxquels on pourrait procéder quand au moyen de nouvelles expériences on aura fixé un point de départ plus satisfaisant.

Nous aurions pour l'eau :

$208 + 140 = 6,27 \times 140 - \overline{AQ} = 877 - AQ$, ou $\overline{AQ} = 529$ pour un poids d'eau de $(1,15 + 0,1768) = 1,6268$ et pour 1g,12 $\overline{AQ} = 363$ kilogrammètres, et en chaleur $\frac{363}{140} = 2^c,59$, pour un équivalent d'eau correspondant à un équivalent d'oxygène pesant 1 gr.

Si les chiffres ci-dessus, et surtout le travail nécessaire pour liquéfier l'oxygène, étaient exacts (et l'on voit que, même bien moindres, ils seraient suffisants pour expliquer les effets des explosions comme celles de la poudre, par la haute température de la vapeur d'eau, comme de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux, gaz aisément liquéfiables, bien que l'oxygène se trouve tout condensé dans le salpêtre, et que par suite, comparativement aux combustions à l'air libre, il n'y ait pas dégagement de chaleur du fait de sa condensation) ; ou plutôt, quand on aura obtenu des chiffres satisfaisants par la discussion d'expériences comparatives, on pourra utiliser les nombreuses expériences déjà faites sur les quantités de chaleurs dégagées dans bien des réactions par voie humide dans lesquelles l'eau est décomposée.

En comparant les résultats ainsi obtenus aux oxydations produites directement, on aura des vérifications qui permettront de revenir d'une détermination résultant d'expériences physiques ne pouvant jamais fournir qu'une première approximation à des valeurs exactes ; en un mot, on pourra constituer la mécanique chimique.

Je n'entrerai pas dans plus de détails à ce sujet ; mon seul but, de démontrer la possibilité de parvenir à ce grand résultat dans tous les cas, se trouvent atteint.

PRODUCTION DU FROID. L'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR est consacré à l'étude des phénomènes de production de la chaleur par action mécanique. Nous n'y reviendrons ici que pour décrire une nouvelle application industrielle de théories d'une grande importance ; je veux parler de la facile production du froid, de la glace, qui peut rencontrer une foule d'applications.

Si l'on réfléchit à la manière dont agit le piston d'une pompe qui comprime un gaz, on voit de suite que s'il réduit le volume d'un côté, il l'augmente de l'autre, que toute compression, et par suite toute production de chaleur d'un côté, est accompagnée d'une dilatation et d'un refroidissement de l'autre côté. Ce second effet est parfaitement insensible si le piston est par sa seconde face en contact avec une masse de gaz indéfinie comme l'atmosphère ; mais si c'est avec les vapeurs qui se dégagent d'un liquide facilement vaporisable, comme l'éther, le chloroforme, le refroidissement est aussitôt observé et ses effets peuvent être utilisés. C'est à la fois à l'aide de ces deux genres d'effets que fonctionne la machine que nous allons décrire, en reproduisant ici le rapport que nous avons fait à la Société d'encouragement, à la suite duquel elle a donné à son inventeur, M. Carré, une médaille d'or.

Tout le monde connaît la belle expérience de Leslie répétée aujourd'hui dans tous les cours de physique, qui consiste à congeler l'eau dans le récipient de la machine pneumatique, en enlevant les vapeurs qui se forment tant par l'action du mouvement des pistons de la machine que par leur condensation au moyen d'acide sulfurique concentré placé près de l'eau.

La théorie de cette curieuse expérience est une

1. MM. Favre et Silbermann ont encore indiqué la voie à suivre dans ce cas, en déterminant la chaleur dégagée lors de l'absorption des gaz. Ils ont trouvé pour certains gaz facilement liquéfiables, comme l'acide sulfureux, l'acide carbonique, que la quantité de chaleur dégagée lors de leur condensation dans les pores du charbon de bois était plus grande que celle qui répond à la liquéfaction du volume de gaz absorbé. Ce fait doit avoir une relation avec la nature, l'affinité des corps poreux pour le gaz condensé, et fournir le moyen de dégager cet élément ; mais je ne veux pas insister davantage sur ce point, désirant que le présent article demeure la reproduction presque textuelle du Mémoire présenté par moi à l'Académie des sciences au commencement de l'année 1859.

application directe de celle de la chaleur latente. La conversion de l'eau en vapeur à la minime pression établie sous le récipient ne peut avoir lieu sans une consommation d'une quantité proportionnelle de chaleur de vaporisation, de chaleur latente, qui ne peut être empruntée qu'aux corps voisins et spécialement à l'eau. La température de celle-ci s'abaisse, et bientôt elle est convertie en glace.

Les résultats obtenus par l'appareil inventé par M. Carré, pour tirer industriellement parti de cette expérience, sont si remarquables et si intéressants au point de vue de la physique, qu'il nous a semblé nécessaire de procéder à la mesure de tous les éléments, mesure qui seule pouvait permettre de bien apprécier les phénomènes. Bien que l'expérimentation d'un appareil industriel soit bien éloignée de la précision d'expériences purement scientifiques, surtout dans les conditions d'installation provisoire dans lesquelles l'appareil était placé, toutefois l'échelle et la rapidité de la production devaient permettre d'atteindre quelques résultats intéressants.

L'appareil représenté fig. 3707, pour la production de la glace de M. Carré, se compose :

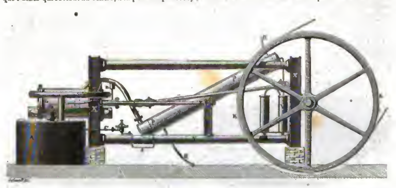
1° D'un cylindre A en tôle de 0m,65 de diamètre à la base et de 0m,65 de hauteur, que nous appellerons le *calorimètre*. Sa partie supérieure est formée d'une plaque de cuivre dans laquelle sont pratiqués dix-huit trous circulaires de 1 décimètre de diamètre, dont les bords sont redressés d'équerre par un emboutissage. Des cylindres en cuivre descendant près du fond du calorimètre sont réunis à ces amorces par une soudure à l'étain sur une longueur assez grande pour en obtenir un excellent assemblage. Le long de ces cylindres sont étagés de petits cônes, de telle sorte que l'éther qui revient au centre, à la partie supérieure,

manivelle dont l'axe porte un volant recevant une courroie qui passe sur celui d'une locomobile de 3 chevaux dans l'expérience dont nous voulons vous rendre compte, mais la machine pourrait recevoir aussi bien tout autre moteur.

Cette pompe, dont le piston a 32c,5 de diamètre (surface 861 cent. carrés) et 0,72 de course, est mise à l'abri des rentrées de l'air par un stuffing-box hydraulique recevant de l'huile (versée dans le godet ouvert o où l'on suit son niveau) entre deux garnitures; solution simple et excellente. Le volume décrit par la pompe est de 64 litres par coup de piston.

3° D'un condenseur à tubes inclinés P placé sur le côté du long bâti qui porte la pompe placée horizontalement, les guides de la tige du piston et l'axe de la manivelle. La vapeur d'éther, refoulée par la pompe dans les tubes, vient s'y condenser par l'effet de l'eau froide arrivant par le tuyau R qui entoure ces tubes et qui s'écoule d'une manière continue par le tuyau Q. La surface du condenseur est de 6 mètres carrés, et l'eau froide se meut en sens inverse de la vapeur chaude d'éther qui arrive par le tube O'. Lorsqu'on arrête la circulation de l'eau, l'échauffement du condenseur est rapide par suite de la chaleur dégagée par la compression des vapeurs. Alors la pression s'élevant, la fermeture hydraulique qui empêche la sortie de la vapeur, et qui n'est autre qu'un baromètre à cuvette V en communication par sa colonne avec le condenseur, laisse passer la vapeur d'éther. C'est ainsi que se fait la *purge*, qu'en peu de temps tout l'air est expulsé de l'appareil, condition essentielle d'une parfaite condensation.

4° Enfin, d'un tube S permettant le retour de l'éther liquide du condenseur au calorimètre par l'effet de la différence de la tension des vapeurs dans ces deux



3707.

vient se déverser sur les rigoles qui garnissent ces cylindres, et fournit une surface très-grande d'évaporation que l'auteur évalue à 3 mètres carrés. Le calorimètre, pesant 125 kilogr. et renfermant 15 kilogr. d'éther, a reçu, dans l'expérience dont nous allons rapporter les résultats, dix-huit cylindres pleins d'eau glissant librement dans ceux dont nous venons de parler, avec interposition d'eau alcoolisée pour éviter les adhérences. Il plongeait par sa partie inférieure dans un baquet plein d'eau, et la partie cylindrique supérieure était enveloppée d'étoupe.

2° D'une pompe aspirante et foulante, à double effet G, mise en mouvement par une bielle mue par une

parties de l'appareil dont les températures sont très-différentes. Ce retour est réglé au moyen d'une valve qui, pour ne pas laisser rentrer d'air, est attachée au-dessous d'une plaque fixe formant paroi du conduit, valve que l'on abaisse ou que l'on relève au moyen d'une vis de pression dans les limites parfaitement suffisantes de l'élasticité de la plaque.

L'appareil étant décrit, indiquons les résultats de nos expériences. Une première fois, en une heure trente minutes, on a congelé les cylindres pleins d'eau; mais, le jour où nous avons pris des mesures, il a fallu une heure quarante minutes et purger plusieurs fois l'appareil de l'air qui rentrait par quelque fuite

PRODUCTION DU FROID.

minime, dont les effets devenaient sensibles après trente minutes de travail.

Dans ces conditions, les effets calorifiques produits ont été les suivants, que nous traduirons en calories.

Calorimètre, Glace dans les 18 cylindres.	67^k
Glace enveloppant le bas du cylindre. .	33
	100

Soit à 79,55 par kil., 7955 calories.

Le réchauffement par la surface métallique supérieure est difficile à évaluer ; la comparaison des résultats obtenus par M. Péclet pour le chauffage à la vapeur n'est pas applicable ici, vu qu'il n'y a pas de condensation de vapeur sur une des faces, cause principale d'une rapide déperdition.

Nous serons donc peu éloignés de la vérité en admettant 8,000 calories pour mesure de la quantité totale absorbée.

L'éther, revenant du condenseur à $+ 14°$ au moins (voir plus loin) et passant à $— 10,80$ environ dans le calorimètre, est refroidi en consommant une chaleur pour 85 kilogr. d'éther qui ont circulé (chiffre déterminé plus loin) de $85 \times 0,51 \times 24 = 1040$ calories, quantité importante dont l'effet sur le haut des cylindres de glace est très-sensible ; car leur centre ne peut s'y congeler à cause de l'action de cette quantité de chaleur.

Pendant ce travail, un indicateur du vide de Bourdon indiquait 61 ou 62 centimètres de mercure, soit 14 à 15 centimètres pour la pression de l'éther à $— 10°$.

En même temps que le froid se produit dans le calorimètre, de la chaleur, avons-nous dit, se produit par la compression de la vapeur, et peut se mesurer par l'échauffement de l'eau qui sort du condenseur, ce que nous n'avons pu faire qu'avec une précision assez médiocre, l'emplacement ne nous permettant pas de recueillir et jauger l'eau échauffée. Le volume de cette eau, dans notre expérience, a été trouvé par le jaugeage du réservoir à eau froide d'où elle provenait, de $2^{m.c},750$ (diamètre 2,72 du réservoir cylindrique, différence de niveau du commencement à la fin de l'expérience $0^m,48$), 2,750 kilogr. d'eau à $10°$ dans le réservoir sortant à 12,80 du condenseur, emportant $2750 \times 2,8 = 7700$ calories. De cette quantité il faudrait déduire la chaleur d'une petite quantité d'eau chaude que l'on fait couler sur le cylindre de la machine pour empêcher l'éther de s'y liquéfier, et qui se réunit ensuite à l'eau du condenseur, et ajouter une quantité de chaleur assez notable qui se dégage par le conduit qui mène la vapeur d'éther comprimée par la pompe au condenseur, dans des conditions qui se rapprochent de celles des expériences de M. Péclet, car de l'éther condensé garnit sûrement alors la face interne de la paroi.

Admettant que ces deux effets, tous deux relativement assez faibles, se balancent à peu près, on voit que nous trouvons presque égalité entre la chaleur qui sort du condenseur et celle empruntée au calorimètre, sauf le dernier élément sur lequel nous aurons à revenir.

La chaleur qui sort du condenseur donnera la mesure de la quantité d'éther qu'elle a servi à condenser, et dont la chaleur latente est 91. Elle est donc de $\frac{7700}{91} = 85$ kilogr., nombre un peu trop grand toutefois, car la compression dépasse toujours nécessairement le point précis où la condensation peut se produire, et le condenseur reçoit ainsi une certaine quantité de chaleur qui ne répond pas à une condensation, puisque celle-ci ne se produit avec quelque rapidité qu'en raison de l'excès de la température de la vapeur sur celle du condenseur.

Le vide du condenseur est mesuré théoriquement par 46 centimètres de mercure, d'après la loi approchée de Dalton, la pression de l'éther à $+ 14°$ au moins (supérieure nécessairement, comme nous venons de le voir, à celle de l'eau du condenseur) étant $0,76 — 0,46 = 30$ centimètres de mercure. Dans l'appareil qui ne permet pas de prendre cette mesure exactement, la pression se rapproche plus ou moins de cette limite sans l'atteindre jamais ; le vide, en raison de l'état de l'appareil, se réduit à 25 quand il est imparfait.

Venons maintenant au travail moteur.

Ayant placé un frein sur le volant de la locomobile et obtenu la même vitesse que lorsqu'elle conduisait l'appareil, à une pression peu élevée de 4 1/4 à 4 1/2 atmosphères qui n'avait guère été dépassée, nous avons trouvé 2,3 chev. vap., sûrement moins de 2 1/2 chevaux.

Avec les chiffres précédents nous pouvons conclure déjà, au point de vue industriel, ce qu'on peut attendre de la machine actuelle. Avec une dépense de combustible nécessaire pour l'alimentation de 2,5 chevaux vapeur pendant $1^h,66$, c'est-à-dire avec de puissantes et bonnes machines brûlant 1,5 kilogr. par cheval et par heure, au moyen de $1,6 \times 2,5 \times 1,66 = 6^k,25$ de houille et de 2750 kilog. d'eau de condensation à un niveau convenable (avec un poids moindre, une condensation moins efficace, effectuée à une plus haute température, exigerait plus de travail) on a produit 100 kilog. de glace.

La dépense en argent, déjà très-faible, serait encore réduite si on employait pour moteur une chute d'eau, fournissant le travail moteur à meilleur marché que la machine à vapeur, et toujours l'eau de condensation à une hauteur suffisante sans aucune dépense pour son élévation.

Il faut remarquer, toutefois, que dans ces dépenses nous ne faisons nullement entrer les frais généraux, c'est-à-dire les dépenses de chauffeur, de mécanicien, du personnel nécessaire pour le travail, dépenses qui diminuent à mesure que la fabrication est plus importante ; ni surtout les dépenses d'achat et d'entretien de la machine. Ce dernier article est impossible à prévoir, la durée d'un appareil que la moindre fuite force d'arrêter ne peut être qu'un résultat d'expérience ; mais le bon service de celui que nous avons expérimenté, et qui est le premier établi dans des proportions un peu grandes, permet de penser que les dépenses d'entretien ne seront pas très-considérables.

Le prix fût-il plusieurs fois supérieur à celui qu'espère l'inventeur, le succès de l'appareil de M. Carré, pourvu qu'il résiste à un service prolongé, ne nous paraît pas moins devoir récompenser les intelligents efforts de l'inventeur. Sans doute, on ne le placera pas en Norvége ou dans les pays septentrionaux où la glace est si abondante une grande partie de l'année, et où il est si facile d'en conserver ; mais à mesure qu'on s'approche du Midi, dans des pays comme la France, où l'hiver est souvent assez peu rigoureux pour ne pas permettre de remplir les glacières, l'appareil de M. Carré devient indispensable au moins comme puissant auxiliaire pour les entreprises de commerce de glace. Mais combien son utilité va en croissant, si on passe aux pays méridionaux, à ceux surtout comme la Havane, Calcutta, etc., dont les chaleurs, si dangereuses pour les Européens, font de la glace une nécessité absolue ! Avec quelle supériorité, par exemple, cet appareil pourra, dans l'Inde, lutter avec la glace amenée de Boston !

Ayons soin de bien faire remarquer, ce qui n'échappera à l'attention de personne, que la fabrication de la glace n'est ici qu'une application à une production

déterminée d'un moyen puissant de produire du froid, qui pourra trouver bien d'autres applications industrielles, ou plutôt qui s'appliquera naturellement toutes les fois qu'un refroidissement sera utile. Les brasseries, les exploitations de marais salants, qui, pour l'application de l'admirable procédé Balard, ont alternativement besoin du froid et du chaud, sont déjà à l'œuvre pour l'appliquer sur une grande échelle.

Après avoir applaudi aux chances de succès de l'ingénieux inventeur dont nous avons rapporté les travaux, revenons sur le grand intérêt que présente son appareil au point de vue de la science, aux progrès de laquelle il peut, croyons-nous, prêter un utile concours.

Obtenir par une action mécanique un froid de 10 ou 12°, comme celui produit dans l'expérience décrite ci-dessus, est déjà un résultat important, et qui, industriellement, a un grand prix, puisqu'il répond à tous les cas nombreux où il faut employer des mélanges réfrigérants de glace et de sel assez coûteux. Mais l'effet possible n'est pas limité à cette température. Dans une expérience, nous avons fait marcher la pompe sans mettre de l'eau dans le calorimètre, et nous avons obtenu, en moins d'une heure de marche, un froid de — 35°. L'indicateur marquait 708, ce qui donnerait pour la tension de l'éther, à cette température, 50 millimètres environ. La loi de Dalton donne 30.

Outre la possibilité de vérifier la loi de la tension des vapeurs aux diverses températures, ce qui serait facile en employant un instrument précis au lieu du manomètre de Bourdon placé sur la machine, on voit comment, en faisant, au besoin, se succéder des liquides convenables, elle peut permettre de produire, d'une manière durable, des températures extrêmement basses, en opérant sur des masses considérables avec un appareil suffisamment puissant. Nous nous contenterons de rappeler les célèbres travaux de M. Faraday sur la liquéfaction du gaz, pour indiquer l'intérêt de la production facile de très-basses températures, en employant un mode d'action semblable.

Le second point de vue auquel nous voulons considérer l'appareil de M. Carré est celui des relations du travail mécanique et de la chaleur qui préoccupe à si juste titre les savants qui sentent que l'on approche, dans cette direction, d'un grand progrès.

Nous avons vu que le calorimètre se refroidissait d'une quantité supérieure de 1040 + 300 = 1340 calories à celle qui se trouve dans le condenseur. Cette quantité est celle qui correspond au travail mécanique de la pompe qui comprime les vapeurs d'éther dans le condenseur, et l'analyse de cet effet permet de bien comprendre la manière dont les phénomènes se passent dans la machine.

Dans le calorimètre, l'éther donne des vapeurs dont la température est — 10° et la pression de 15 centimètres de mercure. Cette vapeur, si elle était conduite dans un condenseur renfermant de l'eau à + 10°, ne pourrait que s'y surchauffer et nullement s'y condenser. Mais si, par l'effet d'une pompe et d'un travail mécanique, on la comprime de manière à augmenter sa densité et ainsi élever sa température à + 10°, elle deviendra susceptible de se liquéfier dans le condenseur, *mais non de perdre la chaleur sensible* produite par ce travail, puisqu'elle n'a pas une température supérieure à celle du condenseur. On peut ainsi faire deux parts de la chaleur : celle latente de vaporisation engendrant le refroidissement du calorimètre et le réchauffement de l'eau du condenseur, et la chaleur sensible qui réchauffe l'éther et se perd en partie par rayonnement. L'équilibre stable du système, l'égalité entre le refroidissement du calorimètre et le réchauffement du condenseur n'existe que si l'on tient compte du travail consommé par la pompe, car la quantité de chaleur sensible conservée par l'éther liquéfié qui repasse dans le calorimètre est celle produite directement par le travail mécanique de la pompe, et elle est assez considérable pour que son calcul puisse offrir de l'intérêt.

T étant le travail produit, E l'équivalent mécanique de la chaleur, on doit avoir $\frac{T}{E} = 1340$ calories, réchauffement des 85 kilog. d'éther produit par le travail mécanique, plus la différence trouvée en commençant, qui comprend surtout les pertes de chaleur par les surfaces.

La quantité T peut se calculer assez facilement d'après le volume et la pression de la vapeur d'éther.

La densité de la vapeur d'éther est 2,54, celle de l'air étant 1 sous la pression 0,76 sera, pour 15 centimètres de mercure, 0,50 à température constante et à — 10°, 0,54, 1 mètre cube pèsera $0^k,70$, et 85 kilog. auront un volume de 121 mètres cubes. La pression passant de 15 à 30, comme $\frac{76}{15} = 5$, on a :

$$T = \frac{10330}{5} \times 121 = 249286\text{ ; d'où}$$

$$E = 186 \text{ kil. mèt.}$$

Nous ne donnons cette première détermination que comme approximation grossière, et pour montrer comment la machine installée convenablement pourra conduire à de bonnes valeurs de l'équivalent mécanique de la chaleur, les phénomènes qui s'y passent étant bien connus, ne pouvant donner de pertes difficilement appréciables, comme cela a lieu quand on emploie des frottements pour produire de la chaleur, et tous les éléments du calcul, et surtout les pressions, pouvant s'y mesurer avec précision.

Le volume décrit par la pompe de la machine de M. Carré étant de $0^{m},061$, on aurait dû, en $\frac{121}{0,061} = 2015$ coups de piston, produire le résultat obtenu dans notre expérience. En réalité, il fallait plus de deux fois ce nombre, ce qui prouve que la perfection d'exécution peut encore améliorer l'appareil, faire éviter des compressions et dilatations alternatives de vapeur par suite du jeu imparfait des soupapes, des espaces nuisibles, etc.

On conçoit, d'après ce qui précède, tout l'intérêt que mérite l'invention de M. Carré. Création d'un appareil pouvant pratiquement fournir du froid dans une foule de cas comme avec un fourneau on produit de la chaleur, c'est-à-dire conquête pour l'industrie d'un moyen d'action tout à fait capital, constitution d'une industrie sérieuse, progrès scientifiques pouvant résulter du degré de perfection déjà atteint grâce aux ingénieuses dispositions que l'inventeur a su combiner pour la solution de difficiles problèmes ; voici ce qui est déjà acquis, et toutes ces conséquences grandiront et se développeront avec le succès industriel, qui ne me paraît pas douteux, de l'appareil.

PYROSCOPES. Nous compléterons, en insistant sur la cuisson des poteries, les documents que nous avons donnés à l'article THERMOMÈTRE. Il faut une très-grande expérience, un coup d'œil sûr pour apprécier exactement dans les diverses industries qui sont basées sur l'emploi des températures élevées la marche du feu, son accélération ; il faut une habitude qui ne s'acquiert qu'après de longues années pour savoir reconnaître si la température s'élève également dans toutes les parties d'un four, et s'il convient, les objets ayant atteint leur degré de cuisson, d'arrêter le feu brusquement pour l'empêcher de dépasser le degré voulu.

Lorsqu'on cuit des poteries, on juge si le tirage est bon et égal d'après la flamme qui s'échappe des cheminées et des carneaux, c'est-à-dire d'après sa lon-

gueur, d'après sa couleur plus ou moins bleuâtre, plus ou moins fuligineuse.

Couleur du feu. — Lorsque les pièces qui sont dans le four commencent à rougir, on examine, par des ouvertures réservées à cet effet dans les différentes parties du four, la couleur du feu; l'état d'incandescence des pièces placées dans le four peut donner aux praticiens expérimentés le moyen de juger de la force et de la régularité du feu.

D'après M. Pouillet, les divers degrés d'incandescence correspondant à des températures que nous réunissons dans le tableau suivant, en plaçant en regard du nombre de degrés centigrades le point de fusion de quelques métaux, sont les suivants :

Rouge naissant. . .	525 degrés.	
Rouge sombre. . .	700 —	
Cerise naissant. .	800 —	
Cerise	900 —	
Cerise clair. . . .	1000 —	fusion de l'argent.
Orangé très-foncé.	1050 —	fusion de la fonte blanche.
Orangé foncé. . .	1100 —	fusion de la fonte grise.
Orangé clair. . .	1200 —	fusion de l'or.
Blanc naissant. .	1300 —	fusion de l'acier.
Blanc éclatant. .	1400 —	
Blanc éblouissant.	1500 —	fusion du fer forgé;
Blanc éblouissant.	1600 —	cuisson de la porcelaine dure.

Montres ou Pyroscopes. — Pour ne pas être exposé dans les fabriques aux erreurs auxquelles la vue seule pourrait donner lieu, on place dans divers endroits du four des pièces de même nature que les poteries à cuire : on les retire vers la fin de la cuisson pour les examiner avec attention : ces petites pièces prennent le nom de *montres* ou *pyroscopes*; elles diffèrent de forme avec les fabriques et les usages des pays.

A Sèvres, ce sont des fragments d'assiette percée d'un trou qui permet de les aller saisir dans le four au moyen d'un ringard en fer et placés sur un patin de terre à cazetta. Pour que le four ne se refroidisse pas par le courant d'air qui pénétrerait dans le laboratoire, chaque fois qu'on veut juger de la couleur du feu, on empêche l'air froid d'avoir accès dans l'intérieur du four : on dispose à cet effet des visières qu'on enlève au moment de retirer les montres; ces visières s'engagent par un talon carré dans un trou de même forme réservé dans la porte; elles se terminent par une partie conique portant sur le gorge antérieure, enchâssée dans une rainure, une petite plaque en verre à vitre qui bouche complétement l'ouverture. Lorsqu'on veut voir la couleur du four, on soulève une petite tôle qui glisse dans une seconde rainure.

Dans quelques fabriques les montres sont de petites tasses carrées ou légèrement coniques qu'on enlève, soit par un trou fait exprès, soit au moyen de l'anse.

L'état dans lequel sont ces pièces fait connaître assez exactement le degré de cuisson de la poterie qui remplit le four, car les changements physiques qu'elles éprouvent indiquent la manière dont la température s'élève; en comparant entre elles les montres d'une même fournée dans un même moment, on voit comment la chaleur s'est répartie dans les diverses parties du four; en comparant entre elles les montres de plusieurs fournées consécutives, on établit expérimentalement à quel degré de cuisson il faut les amener pour donner à chaque fournée le feu qui lui convient.

J'ai dit que les montres faisaient connaître assez exactement l'état de cuisson des pièces placées dans le four; il est évident qu'étant mises dans des étuis ouverts recevant directement l'air froid quand on les retire, refroidies promptement, elles doivent être généralement un peu moins cuites et peut-être aussi moins brillantes que les pièces contenues dans le four.

Plusieurs fabriques, comme celles de Creil et de Montereau, jugent expérimentalement et d'une manière rigoureuse l'état d'avancement du feu d'après la coloration d'un mélange de terres plus ou moins manganésiennes et ferrugineuses, ou par la retraite qu'elles prennent en cuisant. On façonne ces pyroscopes sous forme de *sphères* ou de *boules creuses* qui doivent, lorsque la pâte est cuite, passer par un trou déterminé; elles sont percées de part en part. Après la cuisson elles prennent une couleur qui varie du rouge pâle au rouge brun, en passant par le ton rougeâtre qui dénote une cuisson convenable.

Pour cuire le vernis, on a recouvert les pyroscopes rougeâtres d'un vernis plombifère très-fusible, qui prend une couleur déterminée sous l'influence d'une même température. La coloration de ces boules varie alors du rouge clair au brun rouge très-foncé, suivant la température qu'ils ont reçue.

Quoiqu'on admette aujourd'hui que ces méthodes de juger le feu soient les plus convenables, il serait erroné de penser qu'on n'ait jusqu'à ce jour fait aucune recherche pour doter les arts céramiques et les autres industries qui réclament l'emploi de la chaleur rouge de pyromètres exacts. Or, les conditions que ces instruments ont à remplir suffisent pour faire comprendre les difficultés du problème, augmentées encore par la haute température à laquelle il s'agit de monter.

L'exposé fait par M. Brongniart des conditions auxquelles un bon pyromètre doit satisfaire indique les obstacles à surmonter.

Il faut en effet, et ces conditions sont d'impérieuse nécessité :

« 1° Qu'il soit d'un emploi facile, c'est la première de toutes les conditions auxquelles il doive satisfaire pour que son usage puisse s'introduire dans l'industrie;

« 2° Qu'il fasse connaître promptement la température du four dans lequel sont placées les pièces à cuire;

« 3° Qu'il indique sûrement la marche du feu dans le four;

« 4° Qu'il donne ces indications avec exactitude, d'une manière précise, absolue, transmissible dans tous les lieux et dans tous les temps. » (Brongniart.)

Le premier *pyromètre* employé fut celui de Wedgwood; il est fondé sur la propriété qu'ont les pâtes argileuses de diminuer de volume sous l'influence de la chaleur; les indications de cet instrument, dont on ne se sert plus guère qu'en Angleterre, ne sont pas assez précises pour qu'on puisse recommander actuellement le pyromètre de Wedgwood; la nature de l'argile dont on a fait usage pour former les billes pyrométriques a des influences sur la retraite de la pâte pour une même température donnée : d'ailleurs, suivant qu'on élève la température plus ou moins rapidement, suivant que les cylindres ont été moulés ou tournés, les indications de l'instrument pour une même température et pour une même pâte argileuse sont très-variables.

Malgré ses imperfections cet appareil est très-connu; nous allons néanmoins en donner ici la description exacte.

Sur une plaque métallique ordinairement en cuivre, on soude deux règles dont l'une est divisée en deux cent quarante divisions égales; ces règles forment entre elles un canal de 61 centimètres; l'extrémité la plus large donne une ouverture de 14 millimètres; on compte les degrés depuis l'ouverture large jusqu'à la plus étroite. Cette dernière correspond à 240, le première indiquant 0 degré; c'est sur cette extrémité que doit être ajustée la bille pyrométrique avant d'être mise en usage.

Wedgwood composait ses billes pyrométriques avec un mélange à parties égales d'argile de Cornouailles, et d'alumine calcinée provenant de la décomposition

de l'alun par l'ammoniaque et lavant à l'eau bouillante. On mélange l'alumine et l'argile, on forme des cylindres par le moyen d'un moule, on les égalise pour la longueur, on les aplatit sur une face et on les fait rougir faiblement en les soumettant à la température du rouge naissant. On les ajuste alors pour les faire entrer dans le canal du pyromètre jusqu'à la division marquée 0 degré. Lorsqu'on veut employer un cylindre pour le pyromètre, on l'expose au feu dont on veut connaître l'intensité. On retire le cylindre au bout de quelque temps; quand il est froid, on l'introduit dans la rainure, on examine à quelle division il s'arrête. C'est la température qu'il a dû subir exprimée en degrés de Wedgwood.

Mais le retrait que prend l'argile étant variable avec la température, suivant une loi qui n'est pas encore connue, ces indications ne peuvent être comparables qu'entre elles; il n'est pas rigoureux de les rapprocher de celles que fournit le thermomètre centigrade. Il n'est pas possible même de calculer à combien de degrés correspond 1 degré de Wedgwood. Si l'on admettait 20 degrés pour la valeur moyenne du degré correspondant aux températures inférieures, à la fusion de l'argent et en supposant que zéro correspond à 525 degrés, on trouverait moins de 40 degrés pour la valeur moyenne du degré correspondant aux températures comprises entre la cuisson de la porcelaine et le zéro de l'échelle. Il est probable que la contraction est plus sensible vers les températures basses qu'à celles qui sont très-élevées, le coefficient de contraction n'étant pas le même pour toute la longueur de l'échelle.

Quoi qu'il en soit, on admet les indications suivantes comme exprimant d'une manière suffisamment exacte les différences de fusibilité des diverses poteries connues :

Cuisson de la porcelaine de Nankin.	160	degrés.
Cuisson de la porcelaine chinoise commune.	140	—
Fusion de la fonte de fer.	135	—
Cuisson de la porcelaine anglaise de Chelsea.	105	—
Cuisson de la porcelaine anglaise de Worcester.	94	—
Cuisson des grès anglais.	86	—
Cuisson de la faïence commune.	57	—
Fusion de l'or fin.	32	degrés
Fusion de l'argent.	28	—

Alliages métalliques. — MM. Appolt, fabricants de produits chimiques, ont disposé, pour mesurer les chaleurs intenses qu'ils veulent régler, une série d'alliages de zinc et de cuivre composés et dosés exactement, dont le point de fusion est déterminé préalablement par des expériences spéciales et rapporté par comparaison aux degrés centigrades.

1re partie de zinc,	4	de cuivre	fondant à	1050
— —	5	—	—	1100
— —	6	—	—	1130
— —	8	—	—	1160
— —	12	—	—	1230
— —	20	—	—	1300

Ces indications paraissent donner au cuivre un point de fusion moins élevé que celui que l'on admet généralement. Pour employer ces alliages, on creuse sur une large barre de fer, à quelques centimètres de son extrémité, plusieurs cavités hémisphériques dans lesquelles on place une parcelle de chaque alliage. Ces parcelles sont environ de la grosseur d'un pois; on les choisit de telle sorte que leur degré de fusion ne soit pas éloigné de la température du fourneau. Un peu d'habitude permet bientôt de faire ce choix sans se tromper. On couvre les grains d'alliage avec une plaque de fer pour les garantir de l'oxydation, puis on place la barre dans le fourneau. Pour que l'expérience soit concluante, il faut qu'une partie seulement des alliages se fonde, et l'on apprécie la température en choisissant dans le tableau celle qui correspond à la moins fusible des parcelles qui sont liquéfiées. La température indiquée par le point de fusion de certains alliages, très-convenable théoriquement, présente encore pratiquement des embarras tels, que ce procédé n'a pas encore été mis en usage dans les industries céramiques.

On a fait à Sèvres l'essai du thermomètre à air; mais il se présente pour cuire la porcelaine la difficulté de trouver une enveloppe parfaitement imperméable pour conserver la même quantité d'air pendant toute la durée d'une même fournée, et pendant les fournées subséquentes. On conçoit qu'on doive rencontrer des obstacles sérieux dans la mesure des températures capables de faire fondre des alliages contenant 53 parties de platine pour 47 d'or. SALVÉTAT.

R

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. L'expérience nouvelle rapportée à l'article *Équivalent mécanique de la chaleur* m'a permis d'expliquer un phénomène d'écrasement des corps durs qui était fort obscur jusqu'ici, à savoir, leur décomposition en pyramides ou en cônes, suivant que le corps soumis à la compression a une forme prismatique ou cylindrique.

Lorsqu'on laisse tomber un corps pesant, comme le mouton de la sonnette à battre les pieux que j'employais dans mes expériences, sur un morceau de plomb coulé de la forme d'un tronc de cône droit, pénétré par un tronc de cône renversé, forme préférable à celle de cubes ou de prismes qui résistent également par leurs faces opposées, sur lesquelles seules on avait fait de rares expériences, les déformations ont toujours été de la forme représentée par la fig. 3708, c'est-à-dire que le métal, écrasé seulement à la partie supérieure du cône, s'écarte perpendiculairement à la direction de l'écrasement, de manière à présenter sa plus grande largeur extérieurement, à y former un bourrelet en tulipe, tandis qu'à l'intérieur, près de la surface, une paroi circulaire verticale bien nette montre bien que le phénomène se passe tout différemment à l'extérieur qu'à l'intérieur.



3708.

Cette différence d'effets est facile à analyser.

A l'extérieur, le métal, ne trouvant pas de soutien, puisque les circonférences successives vont en croissant, s'écarte sans rencontrer de résistance, et par la succession des couches superposées prend extérieu-

rement la forme en tulipe *a*. Pour les couches intérieures, au contraire, le mouvement du métal vers le centre tend à faire naître une résistance particulière.

La forme des parties *c c* est due évidemment à la résistance produite par le glissement vers l'intérieur, dans une direction où les circonférences successives vont en diminuant de rayon, ce qui fait naître la résistance bien connue de la voûte, de la roue de voiture. Ce résultat indique l'explication très-satisfaisante, et qui n'avait pas encore été donnée, du très-curieux phénomène dont j'ai déjà parlé, qui se produit lors de l'écrasement des corps durs.

Considérons un prisme et d'abord la face supérieure qui reçoit la pression (fig. 3709). Les molécules du bord tendent à se mouvoir extérieurement, à s'écarter dans la limite de l'élasticité du corps, tandis que vers le centre, par une réaction nécessaire de ce premier effet, les molécules tendant à glisser vers l'intérieur résistent en faisant voûte. Il est évident que les molécules situées vers le bord, qui s'écartent dans la limite de l'élasticité du corps, qui se déplacent quelque peu, tendent à entraîner extérieurement les molécules placées en-dessous d'elles, et transmettent mal la pression verticale à la section sous-jacente, où les mêmes effets se reproduisent sur une surface moindre, diminuée d'un petit contour comparativement à la section placée au-dessus. C'est par la répétition de cet effet que la section des parties résistantes, qui ne tendent pas à se réduire en poussière, va en diminuant, d'où la forme de cônes, de pyramides, où l'effet de voûte vers l'intérieur est bien démontré par la convexité des faces. Quant aux parties situées en dehors des pyramides dont l'élasticité est forcée, et qui tendent à être repoussées, elles tombent en poussière.

3709.

Les pyramides ou cônes sont doubles, le sommet étant au milieu de la hauteur, à cause de la transmission générale de la pression de la partie supérieure à la partie inférieure, dans le cas bien entendu de pressions lentes; car, avec un choc, la surface en contact avec l'obstacle n'étant pas la section la plus grande du corps, le choc est amorti par le contact, et il se produit une pyramide partant de la face choquée et un glissement relatif du reste du corps le long des faces de la pyramide, variant de forme en raison du choc et de la ténacité des substances, comme l'expérience l'a fait reconnaître dans le choc des boulets.

Il me semble que l'inégalité des surfaces supérieures et inférieures adoptée pour la première fois dans mes expériences, au lieu de l'égalité des formes cubiques et cylindriques employées par Rennie et Vicat, ouvre une voie tout à fait nouvelle aux observations relatives aux phénomènes de rupture aussi bien pour les compressions que pour les chocs; questions aussi intéressantes que difficiles, qui appellent les recherches des physiciens, car les travaux faits jusqu'ici ont, la plupart, une assez faible valeur. Mes expériences montrent encore la consommation énorme de travail qui se fait par l'écrasement de la saillie d'un corps aigu, et qui amortit par suite rapidement sa vitesse. Cet effet justifie l'emploi proposé par M. Whithworth de projectiles plats de l'extrémité et non aigus pour agir sur les bordages en fer des canonnières et navires blindés, au moyen des canons rayés qui lancent les projectiles allongés.

RELIURE. Depuis quelques années, l'industrie qui a pour objet le façonnage du papier a pris un développement remarquable, développement qu'a rendu possible l'invention de plusieurs outils et notamment de machines propres à couper avec facilité un grand nombre de feuilles à la fois.

Les relieurs, ou au moins le plus grand nombre des relieurs, sont restés fidèles à l'ancienne presse à rogner, malgré l'économie qui peut résulter de l'emploi d'outils plus expéditifs; mais évidemment il n'en saurait être longtemps ainsi, surtout dans les grands ateliers où l'on opère à la fois sur un grand nombre de volumes semblables.

M. Pfeiffer a construit une machine perfectionnée de grande dimension dont nous donnerons la description.

Elle consiste essentiellement, comme les machines de ce genre qui existent déjà, en une forte lame d'acier assemblée à une pièce guidée suivant une ligne oblique avec la perpendiculaire à la surface du papier. La lame tranchante ne peut donc descendre sans avoir en même temps un mouvement transversal nécessaire pour lui faire couper parfaitement le papier, préalablement pressé près de la partie qu'il s'agit de rogner.

Nous n'insisterons pas sur cette partie de la machine, qui ne diffère de celles connues que par des combinaisons mécaniques différentes, et nous passerons à la partie essentiellement nouvelle, celle qui a pour objet de couper circulairement la tranche des livres.

Cette opération demande aujourd'hui du relieur assez d'habileté pour être faite convenablement; il faut repousser le dos du livre avant de le serrer dans la presse à rogner, pour qu'après avoir rogné à plat, on puisse, en rendant le dos convexe, retrouver la concavité de la tranche.

M. Pfeiffer pratique cette opération à l'aide d'une lame concave qui se meut sur un axe de rotation mis en mouvement par une partie de roue dentée et un pignon. Pour que cette lame, qui suivent sa dimension et son éloignement du centre donne les courbures que l'on désire, puisse couper, il faut lui donner un mouvement de progression suivant son axe en même temps qu'un mouvement de rotation. A cet effet, M. Pfeiffer a fileté l'extrémité de son arbre porte-lame suivant deux pas, à l'imitation de ce qui est pratiqué dans certains tire-bouchons, à l'aide desquels le bouchon est traversé par l'hélice et retiré de la bouteille par un mouvement continu de la poignée. De la sorte, le mouvement progressif du couteau a toujours lieu sans que la roue dentée puisse échapper du pignon.

RÉGULATEUR LA RIVIÈRE. — En construisant son régulateur, dit M. Grenvelle dans son *Guide du chauffeur* (2[e] partie consacrée aux machines à vapeur), M. La Rivière a eu pour but de corriger les défauts du régulateur Molinié, et surtout le principal, la rapide destruction d'un soufflet en cuir placé près d'une machine à vapeur ou d'une chaudière.

L'appareil consiste en un cylindre de fonte muni de son piston métallique garni de caoutchouc et conduit par la machine sur laquelle on le monte.

L'air est aspiré à chaque course du piston à travers des ouvertures munies de clapets, pratiquées aux deux bouts de la petite pompe à double effet, et il est refoulé sous un piston qui monte et descend dans un cylindre en fonte accolé au premier, et dont la tige sort par le plateau supérieur pour conduire la valve de règlement de la machine.

On conçoit facilement qu'en faisant varier la quantité d'air aspirée et la hauteur dont s'élève à chaque course la tige du piston qui conduit la valve, ce qu'a lieu en rendant ce piston un peu plus ou un peu moins lourd, on arrive, dès que la machine s'accélère trop, à fermer instantanément la valve et à régler rigoureusement la quantité de vapeur introduite, en raison des besoins du travail seul que la machine doit faire, et à ouvrir instantanément aussi la valve, pour augmenter le volume introduit à pleine pression quand la machine se ralentit. Cet appareil a un petit volume, il s'applique sans peine et à peu de frais à toutes les ma-

chines à vapeur; il ne coûte presque aucun entretien, et donne en pratique une détente réglée très-exactement en raison de la charge que la machine entraîne à chaque instant, règlement de détente dont les résultats sont :

Régularité entière de vitesse qui se maintient, même avec la suppression presque complète de la charge; disparition des secousses que produisent ces brusques variations de travail et économie notable de combustible due aux proportions parfaites entre la dépense de vapeur et la charge réelle à chaque instant.

De nombreux régulateurs La Rivière fonctionnent avec succès en France et en Angleterre.

REVOLVER. Multiplier le nombre de coups, chargés à l'avance, qu'il est possible de tirer avec une même arme, c'est augmenter beaucoup sa puissance. Il est clair toutefois qu'on n'y peut songer lorsqu'on emploie des armes auxquelles on donne, dans leur plus grande simplicité, le maximum du poids admissible dans la pratique pour avoir la plus grande portée possible. C'est ce qui arrive notamment pour les fusils de guerre, lorsque cependant il serait important de pouvoir réitérer le feu qui laisse le soldat sans autre défense que celle que peuvent lui fournir les armes blanches. C'est donc naturellement pour les pistolets, dont le poids est assez limité, que l'on a pu reprendre des essais d'arme à nombre de coups multipliés que l'on rencontre dans les principaux musées d'artillerie et qui ont été assez nombreux lors de l'invention de la poudre à canon. Ce ne sont toutefois pas les besoins de la grande guerre ni un développement de la tradition qui ont donné naissance aux armes dont nous voulons parler. C'est en Amérique pour les besoins des pionniers, souvent en lutte avec les sauvages, que se sont multipliés des essais que l'Europe a surtout connus sous la forme perfectionnée que leur avait donnée leur principal promoteur le colonel Colt. Le gouvernement des États-Unis regardait aussi comme un problème disposition. Cependant les armes qu'il construisit d'abord se composaient d'un grand nombre d'organes mécaniques dont l'assemblage était compliqué, et l'on y reconnut bientôt plusieurs inconvénients pratiques, causés surtout par le désir qu'avait eu l'auteur de construire des pistolets solides et d'une belle apparence. Ses premiers essais avaient tous été faits sur des armes réduites aux seules pièces nécessaires pour l'exécution des expériences. Dans cet état, il n'existait pas de causes pour la communication latérale du feu ; mais lorsque l'on posa derrière le tambour tournant une masse métallique destinée à subir l'effort de recul, et devant les chambres une plaque dont l'objet était d'en couvrir les embouchures, le feu se trouvant concentré entre ces pièces et le tambour se communiqua d'une capsule aux capsules les plus proches, et quelquefois même la flamme, s'étendant sur les côtés devant le tambour, alla faire détoner les charges voisines.

Ces explosions intempestives ont donc obligé d'établir des cloisons entre les cheminées pour empêcher l'inflammation de s'étendre ; mais cette addition n'a obtenu qu'un succès incomplet. On avait encore à redouter l'explosion provenant de l'extension de la flamme entre la base du canon et l'extrémité du tambour. Pour obvier à cet inconvénient, on a supprimé la plaque de métal qui était attachée au canon et qui formait un recouvrement sur les tonnerres. On a ainsi diminué le danger sans le supprimer absolument, jusqu'à ce qu'enfin l'auteur ait imaginé de ménager, à l'orifice de chaque chambre à la paroi interne, un petit biseau destiné à porter en dehors, par réflexion, la flamme qui s'étendait latéralement devant les bouches des tonnerres, et qui, frappant maintenant obliquement la surface du biseau, se trouve projetée en dehors loin de la charge.

Quelque peu importante que semble cette modification, elle est tellement efficace que, si l'on répand de la poudre en grains sur les charges voisines de celle qui



3710.

très-important l'invention d'une arme à plusieurs coups, parce que le mode d'attaque habituel aux cavaliers indiens consistait à fondre en grand nombre sur de petits détachements de soldats, à essuyer leur feu, et à les accabler pendant que la nécessité de recharger leurs armes les laissait presque sans défense.

La première disposition à laquelle il parvint consistait à unir un certain nombre de longs canons tournant autour d'une broche par l'effet du mouvement qui armait la platine, comme dans les revolvers actuels ; mais l'arme ainsi disposée était si massive et si pesante, que M. Colt, qui ignorait les essais faits depuis longtemps en Europe, reconnut l'avantage d'employer un seul canon et une culasse tournante à plusieurs tonnerres. Il prit, en 1835, une patente pour cette sert à faire feu, cette poudre ne s'enflamme pas. Par ces perfectionnements et par les autres améliorations qui y ont été apportées, la nouvelle arme est devenue sûre et efficace, et l'auteur regarde comme impossible, que, dans aucun cas, plusieurs tonnerres prennent feu à la fois, si le métal est sain et que les chambres soient convenablement chargées.

Le pistolet-revolver de M. Colt est représenté, fig. 3710. Il se compose essentiellement d'un canon A, ouvert par ses deux extrémités, et d'un tambour B, dans lequel on a foré six chambres c, c, destinées à contenir les charges. Ce tambour tourne autour de la broche en fer C, et porte six échancrures a, a, qui reçoivent les cheminées des chambres. Par conséquent, entre ces échancrures, il se trouve six renflements R,

qui empêchent l'inflammation de se propager d'une capsule aux capsules voisines. Chacun de ces renflements porte une pointe, sur laquelle on abat le marteau du chien, lorsqu'on veut transporter le pistolet. Cette disposition rend l'arme plus sûre, puisque l'on n'a point à craindre qu'une chute ou un choc vienne déterminer l'explosion, ce qui pourrait avoir lieu si le marteau reposait sur la capsule.

Derrière le tambour se trouve le corps de platine, composé en partie d'un bloc hémisphérique dont la partie plane s'appuie presque contre la culasse du tambour B en ne laissant que le jeu nécessaire pour la facilité du mouvement. Ce bloc n'a pu être qu'indiqué en partie dans la figure par l'arc *b*, qui forme l'intérieur du chien.

Le chien D se meut librement dans une entaille pratiquée au milieu du bloc hémisphérique; on l'arme, comme à l'ordinaire, avec le pouce, et lorsqu'il s'abat, il vient frapper la capsule sur la cheminée de la chambre qui lui fait face et déterminer l'explosion.

Lorsqu'on le relève, le tambour exécute un douzième de révolution pendant que la gâchette parvient au cran du repos, et un autre douzième tandis qu'elle passe de ce cran à celui du bandé, en sorte qu'il suffit d'armer le pistolet, après l'avoir déchargé, pour amener devant le marteau la chambre et la cheminée voisines de celles qui viennent de faire feu. Si l'on arrête l'arme au repos, on voit, au contraire, en face du chien, une des pointes dont nous avons parlé; et, en dégageant le chien du cran d'arrêt, on peut l'abattre doucement sur cette pointe et fixer ainsi le tambour.

Pour charger l'arme, on amène le chien au repos, et l'on peut alors faire tourner le tambour avec la main. On place donc successivement dans chacune des six chambres la poudre et la balle qui doit être assez grosse pour n'entrer que de force. Afin de chasser ainsi la balle dans le tonnerre, on dégage le levier-baguette L de l'arrêtoir à ressort F qui en retient l'extrémité, et on l'éloigne du canon, ce qui pousse en avant la broche articulée E. Cette broche vient s'appuyer sur la balle et la force de pénétrer dans la chambre du tambour.

Après avoir répété cette opération pour les six chambres, on relève le levier-baguette L et on le fixe de nouveau par le moyen de l'arrêtoir F.

Quant aux capsules, on les place sur les cheminées par une échancrure ménagée dans le côté du bloc hémisphérique qui fait partie du corps de platine.

En examinant attentivement les pièces de la batterie, on peut s'expliquer facilement les divers effets que nous venons d'exposer.

On voit, en effet, que le chien D, terminé en bas par une noix, reçoit successivement dans ses deux crans l'extrémité de la détente-gâchette G, poussée constamment contre la noix par le ressort H. Or le profil de cette noix est tel, qu'à mesure que l'on relève le chien, la détente-gâchette tourne autour de son axe de rotation, assez pour permettre au ressort H de venir peser sur la goupille qui forme une saillie sur l'arrêtoir I. Cet effet n'est pas sensible lorsque le chien n'est encore parvenu qu'au repos, et l'on peut alors tourner le tambour avec la main; mais, quand le chien est armé, la pression du ressort fait pénétrer l'extrémité de l'arrêtoir dans une des six entailles *a*, *a*, creusées sur la périphérie du tambour qui se trouve ainsi solidement fixé, jusqu'à ce que le coup soit parti.

Quant au mouvement de rotation du tambour, il est produit par le levier K que l'on voit fixé sur le côté de la noix du chien D. Lorsque l'on élève le chien, ce levier tourne autour de son axe, et par son autre extrémité engagée dans les dents d'un rochet R, taillé derrière le tambour, pousse ce tambour de gauche à droite, en le forçant d'exécuter successivement deux douzièmes de révolution, comme nous l'avons dit, pendant que la détente-gâchette parvient jusqu'au cran du bandé.

Une petite entaille pratiquée sur la tête du marteau sert, conjointement avec le guidon, à diriger la visée, lorsque le pistolet est armé.

Les premiers revolvers ont été fabriqués par l'auteur, de 1836 à 1842, en partie par le travail manuel, et en partie par le travail mécanique, à l'usine de la compagnie des armes brevetées (*Patent arms' company*), établie à Patterson (États-Unis).

Cette compagnie dépensa d'abord près de 780,000 fr. sans autre avantage que l'acquisition de l'expérience.

En 1837 éclata la guerre de la Floride où les Indiens retirés dans leurs déserts bravèrent longtemps avec succès, quoiqu'en petit nombre, les troupes envoyées contre eux par les États-Unis. Ces sauvages se servaient de la carabine tout aussi habilement que leurs ennemis, qui ne faisaient pas de progrès. Dans cette situation fâcheuse, le gouvernement s'adressa à M. Colt qui se transporta sur le théâtre de la guerre avec une certaine quantité d'armes à plusieurs coups. Ces armes, malgré l'état d'imperfection où elles étaient encore, furent trouvées si efficaces, que le gouvernement en demanda d'autres qu'il mit entre les mains des éclaireurs commandés par le général Harney, et qui frappèrent de terreur les Peaux-Rouges. Ces sauvages, en effet, lorsqu'ils virent que leurs ennemis faisaient feu six fois de suite sans abaisser les armes pour les recharger, comprirent que leur tactique était inutile et mirent fin à la lutte en se soumettant. Ce succès, si glorieux pour le gouvernement, fut néanmoins préjudiciable à l'auteur, parce que, en supprimant la guerre, il supprima aussi la vente de ces armes. Elles furent cependant employées depuis avec beaucoup d'avantages par le commodore Moore de la marine du Texas, par le colonel Jack Hays, et par plusieurs autres officiers distingués du Texas, pendant la guerre contre le Mexique et les Indiens de 1837 à 1848.

Lorsque en 1847 commença la campagne contre le Mexique, le général Taylor, qui avait apprécié les revolvers dans la Floride, en fit demander d'autres à l'auteur, et un rapport constate que les chasseurs du Texas qui en furent munis marchèrent droit sur les villes et les hameaux des Mexicains, et surmontèrent toutes les résistances.

M. Colt emploie maintenant des machines-outils pour les huit dixièmes de sa fabrication, et il obtient ainsi beaucoup plus d'économie, d'exactitude et d'uniformité. Le remplacement des pièces hors de service est également beaucoup plus facile.

Les appareils nécessaires pour cette fabrication, qui réclame un grand nombre de travaux distincts, paraissent d'abord compliqués, et ne se composent cependant que d'éléments fort simples qui répètent constamment les mêmes opérations.

Comme toutes les autres parties, le corps de platine est forgé dans des matrices qui le forment d'un seul coup. Les machines commencent par forer et fraiser le centre du bloc hémisphérique où l'on fixe solidement la broche C, préparée d'avance, dont on a fileté l'extrémité inférieure, et sur laquelle on a creusé une rainure hélicoïde destinée à recevoir de l'huile et à la retenir. Cette broche fournit une base pour toutes les autres opérations, et pour le montage de toutes les autres pièces. Le dressement et le forage du bloc hémisphérique, qui reçoit l'effort du recul, le creusement des cavités centrales, la taille des cannelures et des orifices, le planage de toutes les parties plates, l'exécution des surfaces courbes, préparent le corps de platine à passer entre deux calibres d'acier trempé, à travers lesquels tous les trous sont percés, alésés

et tarandés, en sorte qu'après avoir subi vingt-deux opérations distinctes, le corps de platine est prêt pour l'achèvement manuel, travail qui consiste seulement dans l'enlèvement des ébarbures, l'adoucissement des arêtes, la trempe et le dernier poli.

Le tambour B est tiré d'une barre d'acier fondu massif; on le forge, on le tourne, on le creuse, on le taraude, on le polit et on le grave, puis on y fore les tonnerres sur une machine, ce qui assure la parfaite uniformité du travail.

Le canon est aussi pris dans une barre d'acier fondu; on le forge plein; puis, après l'avoir foré et calibré, on le soumet à différents appareils qui le dressent et y façonnent la saillie qui sert à le fixer au moyen d'une goupille; ou le taraude ensuite et on le raye intérieurement au moyen d'une machine qui s'ajuste d'elle-même et qui y trace une hélice dont le pas se resserre de plus en plus à mesure que le filet s'éloigne de la culasse.

En un mot, toutes les pièces du revolver sont fabriquées séparément et arrivent presque finies par les machines outils, mais tout à fait isolées les unes des autres, dans l'atelier des ajusteurs, qui les assortissent, les terminent et les montent.

M. Adams a fabriqué un autre revolver qu'il a fait breveter, et qui porte un caractère particulier et différent; car la pression du doigt sur la détente suffit pour armer d'abord le pistolet, puis pour faire partir le coup, tandis que le revolver Colt doit être armé six fois par un mouvement spécial pour que les six charges fassent explosion.

Les partisans du système du colonel ont répondu que cette disposition avait déjà été essayée et abandonnée en Amérique; qu'elle exige un ressort faible mû par le faible effet du doigt pour faire tourner le tonnerre et sujet à manquer promptement de puissance, si l'on veut que la détente ne soit pas très-dure; enfin qu'elle est défavorable à la justesse du tir, lorsque le ressort est assez fort.

Revolver Devisme. — M. Devisme, arquebusier à Paris, a inventé un genre de pistolet revolver qui offre diverses dispositions nouvelles et heureusement combinées.

Les revolvers semblent *à priori* devoir être des armes très-défectueuses, au point de vue de la portée et au point de vue de la justesse du tir. Toutefois, si l'on ne peut espérer obtenir d'une arme dont le canon est partagé en deux parties une justesse absolument parfaite, il était assez naturel de penser qu'il était possible de la rendre assez satisfaisante en lui appliquant tous les perfectionnements apportés à la carabine par MM. Delvigne, Tamisier, etc., etc., qui ont rendu cette dernière arme si précieuse. C'est cette idée parfaitement juste qui a guidé M. Devisme et lui a inspiré le perfectionnement qui donne une grande valeur à son invention; nous voulons parler de la tige qu'il assemble à la culasse et dans chaque chambre par le prolongement de la cheminée, et sur laquelle il force par percussion sa balle cylindro-conique.

Dans ces conditions, la balle, recevant une vitesse considérable de l'inflammation d'une quantité de poudre suffisante (plus grande que celle qu'on emploierait pour un pistolet ordinaire), vient traverser le canon rayé en hélice et conserve une vitesse considérable malgré son forcement, tout en prenant un mouvement de rotation autour de son axe qui assure la justesse du tir.

Dans des expériences comparatives que nous avons faites, la balle s'est rarement écartée de plus de 10 à 15 centimètres de la mouche (le tireur étant assez habile); elle a traversé à 25 pas trois planches de sapin de plus de deux centimètres d'épaisseur chacune, tandis que, avec les mêmes charges, les balles des revolvers Colt et Adams n'en ont traversé que deux. Il est juste de dire que nous avons employé pour le tir des revolvers du colonel Colt des balles sphériques, qu'on peut employer aussi avec cette arme des balles cylindro-coniques, mais jamais dans les conditions de la carabine à tige. En effet, il ne parvient à forcer la balle dans le canon, sans écraser la poudre, qu'en lui donnant une forme conique; mais malgré, l'ingénieuse combinaison de son levier pour bourrer, il ne peut écraser la balle (supposée fondue avec une précision mathématique), de manière à la faire adhérer très-fortement, de telle sorte que ce pistolet se décharge fréquemment quand on le place dans les fontes d'un cavalier, inconvénient grave dans un des cas où l'application de ces armes a le plus d'avenir.

Les diverses parties des revolvers Devisme sont combinées en raison de la nécessité de faire le chargement de la balle par percussion, et en vue de remédier à quelques inconvénients révélés par la pratique de ce genre d'armes.

Pour charger le pistolet, on le démonte en tournant une clef qui permet de retirer le canon, monté sur un axe central; puis on retire le tambour qui glisse sur le même axe. Rien de plus facile que de charger celui-ci, d'y déposer la poudre, y entrer les balles, les forcer en frappant avec la crosse du pistolet sur une petite étampe cylindrique portant en creux la forme de l'extrémité de la balle (et montée à vis sur la crosse pour qu'on l'ait toujours sous la main). On y place enfin les capsules; puis, faisant glisser les deux pièces sur l'axe et serrant la clef, le pistolet est prêt à faire feu.

On ne peut se dissimuler qu'il n'y ait quelque chose de fâcheux dans cette obligation de démonter le pistolet en trois pièces pour procéder au chargement, mais il y a des compensations à cet inconvénient, même en supposant qu'on ne puisse charger dans les conditions indiquées ci-dessus sans cette précaution; nous voulons parler de l'impossibilité pour les capsules d'abandonner les cheminées et de la grande rapidité du chargement. Toutefois ce dernier avantage n'est pas de très grande importance, pas plus que l'inconvénient du démontage dont nous avons parlé n'est grave, parce qu'avec ses six coups, le revolver n'est pas une arme à recharger continuellement en présence de l'ennemi. Aussi on admettra facilement que la pratique puisse donner toute raison à un système comme celui dont nous parlons, s'il est bien établi dans ses détails. Sous ce rapport encore, le revolver de M. Devisme offre beaucoup d'intérêt.

Les inconvénients des soins nécessaires pour le chargement de ces armes et les perfectionnements apportés aux cartouches à culot, font donner la préférence aujourd'hui par beaucoup de personnes aux revolvers qui emploient de semblables cartouches préparées à l'avance : tels sont ceux construits par M. Le faucheux, arquebusier à Paris.

ROTATION. La granulation des métaux, leur réduction en poussière fine est souvent utile pour plusieurs opérations industrielles, notamment pour multiplier les surfaces, afin de faciliter leur oxydation, leur attaque par les acides. Pour les métaux facilement fusibles, l'étain notamment, on emploie quelquefois un procédé qui consiste à le verser dans une capacité métallique qu'on secoue vivement jusqu'à ce qu'il soit solide. Mais ce procédé, difficilement praticable sur une quantité un peu grande de matières, ne pourrait nullement être employé pour des substances difficilement fusibles. Au contraire, celui que nous allons décrire ici, et dont l'invention est due à M. de Rostaing, s'applique aussi facilement à la fonte de fer, à des mattes cuivreuses qu'à du zinc ou du plomb.

L'appareil qu'il a disposé est représenté fig. 3741, et consiste essentiellement en un axe vertical mis en

rotation rapide par une communication de mouvement recouverte par une espèce de boîte cylindrique en fonte

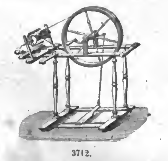
3711.

portée sur cet axe. La partie supérieure est recouverte d'une plaque de terre cuite.

On voit que cet appareil étant mis en mouvement, toute substance fondue, versée commodément en couche mince par un trou pratiqué dans un plancher supérieur, rencontrant une surface animée d'une grande vitesse, sera projetée en tous sens par la force centrifuge, et saisie à un grand état de division par l'air ou l'eau disposée autour de l'appareil, sera ainsi réduite en poussière, qu'on pourra à volonté séparer en divers degrés de finesse par décantation ou autres procédés.

Il est probable que ce moyen d'obtenir facilement et à peu de frais des poudres fines de substances très-dures trouvera d'heureuses applications dans diverses industries.

ROUET A FILER. Le rouet, d'origine relativement moderne (elle ne paraît pas remonter plus haut que les premières années du seizième siècle), qui est venu se substituer au simple travail de la main fait à l'aide de l'antique quenouille, est, comme le remarque avec



3712.

raison M. Poncelet, une admirable invention, digne d'une étude sérieuse et réfléchie (fig. 3712).

En effet, dans cette petite machine vraiment complète, outre le volant et le mécanisme de la bielle et de la pédale, qu'ont été lui emprunter les constructeurs de la machine à vapeur pour produire le mouvement circulaire continu à l'aide de mouvements alternatifs, on doit remarquer la disposition extrêmement ingénieuse du cordon sans fin, à deux branches inégales ou à mouvement différentiel, par laquelle des vitesses de 600 à 800 tours à la minute sont transmises simultanément à la broche et à la bobine, tout en maintenant entre ces vitesses absolues une différence ou vitesse relative aussi petite que le réclament et le tirage de la filasse hors de la quenouille et le très-lent enroulement autour de la bobine du fil qui en résulte, et dont la torsion continuelle est, à son tour, réglée par la vitesse rotative même de la broche à *ailettes et à épingliers* ou crochets servant à diriger ce même fil sur la bobine; d'autre part, le chariot à poupées verticales porte-broche, glissant horizontalement le long des jumelles supérieures de la petite machine, et que conduit parallèlement, à l'instar de ce qui a été pratiqué plus tard dans de grands tours, une vis centrale extrême, servant à régler la tension du cordon sans fin moteur, d'après l'état hygrométrique de l'atmosphère et le grossissement progressif de la bobine, grossissement qui tend à produire un surcroît correspondant du tirage du fil, en partie corrigé cependant par le glissement relatif de ces mêmes cordons sur leurs poulies motrices respectives.

Supposez que le pied de la fileuse soit remplacé par un moteur quelconque; que l'épinglier, l'ailette à crochets, le soit aussi par un mécanisme qui permette au fil de s'enrouler d'un mouvement de va-et-vient spontané sur la bobine devenue verticale ainsi que la broche, etc.; que le rapport de la vitesse de l'enroulement ou de l'étirage du fil à la torsion soit rendu indépendant du grossissement de la bobine; qu'enfin les doigts qui produisent et règlent l'étirage du fil dans la masse de la quenouille soient remplacés par une succession de mécanismes rangeant ces fibres les unes à côté des autres parallèlement, et les étirant de quantités proportionnelles convenablement allongées et tendues et l'on aura l'indication de toutes les conditions auxquelles ont à satisfaire les machines modernes qui produisent la filature automatiquement. Nous avons vu comment ces conditions étaient en partie satisfaites dans le rouet que l'on doit considérer comme un pas très-important fait vers la solution du problème.

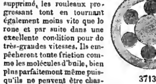
ROULEAUX. — Le frottement exercé par les axes de rotation consomme dans les ateliers, sur les chemins de fer, une grande partie du travail mécanique du moteur et les travaux des ingénieurs et des inventeurs se sont multipliés dans ces derniers temps, surtout depuis le développement des chemins de fer, pour diminuer autant que possible le travail consommé sans profit par ces résistances passives.

On peut dire que les seuls vrais perfectionnements réalisés dans la pratique consistent dans des moyens d'améliorer et de parfaitement distribuer les matières lubrifiantes, soit mécaniquement par des systèmes de graisseurs, soit physiquement par des compositions de graisses convenables pour chaque emploi. Des tentatives ont été faites pour supprimer autant que possible le frottement, et bien que n'ayant pas été couronnées d'un succès complet, elles ont spéculativement assez d'intérêt pour qu'il convienne de les examiner.

D'abord cela est-il théoriquement possible?

On ne peut s'empêcher de faire une réponse affir-

motive si l'on réfléchit que l'huile ou la graisse diminue le frottement précisément parce que leurs molécules roulent comme de véritables sphères entre les deux surfaces dont elles empêchent le contact intime. D'ailleurs, l'emploi de rouleaux pour réduire le travail du transport des fardeaux en terrain horizontal est bien connu, le fardeau se déplaçant deux fois plus vite que le rouleau. Si on imagine de semblables rouleaux répartis autour d'un axe de rotation (fig. 3713), le frottement de glissement se trouvera théoriquement supprimé, les rouleaux progressant tout en tournant également moins vite que la roue et par suite dans une excellente condition pour de très-grandes vitesses. Ils empêcheront toute friction comme les molécules d'huile, bien plus parfaitement même puisqu'ils ne peuvent être chassés par la pression.



3713.

Mais là commence la difficulté pratique qui jusqu'ici n'a pas été résolue d'une manière complète, et qui ne paraît soluble qu'en partie. Comment guider ces rouleaux ?

On ne peut songer à guider ces rouleaux par des axes, car on perdrait les avantages des rouleaux, le frottement de glissement reparaîtrait sur des axes faibles et bientôt faussés si de grandes puissances sont en jeu. Nous avons déjà vu à l'article *Coussinets* comment ces galets n'étaient admissibles que lorsqu'il s'agit d'appareils très-légers.

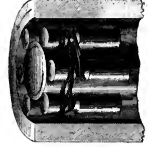
Restent les deux solutions tentées jusqu'ici : 1° garnir toute la circonférence de l'axe de rouleaux s'appuyant les uns sur les autres, ne pouvant par suite se déplacer, ou 2° n'employer qu'un certain nombre de rouleaux espacés en employant un moyen propre à assurer la constance de cet espacement. Nous allons les passer en revue.

Rouleaux serrés. — Si les rouleaux pressés les uns contre les autres n'étaient soumis qu'à l'action de l'axe tournant, la solution serait aussi parfaite que simple; mais leur contact mutuel tendant à faire tourner tout couple de rouleaux successifs en sens contraire l'un de l'autre, tandis que l'axe central tend à les faire mouvoir dans le même sens à l'encontre l'un de l'autre, il se produit un frottement de glissement et une usure qui rendent le système inacceptable.

MM. Mathieu Chauffour ont essayé de tourner cette difficulté par un mode de construction fort ingénieux. Ils forment la moitié de chaque rouleau d'un axe entouré d'un tube et les disposent successivement tête bêche. Ces tubes, peu comprimés sur leur axe, obéis sent à l'action du rouleau voisin, et le rouleau se transporte sans frottement contre ceux qui sont dans son voisinage. L'exécution de ce système demande trop de précision pour éviter que les tubes ne compriment la partie du rouleau qui leur est intérieure pour avoir pu passer dans la pratique, et les inventeurs eux-mêmes paraissent avoir renoncé à l'établir.

Rouleaux régulièrement espacés. — Ce système a été proposé sous le nom de *circonvecteur* par M. A. Brussaut. Pour assurer la régularité de l'espacement, sans faire naître des résistances, des frottements considérables dans les brides qui maintiennent les rouleaux, il emploie simplement des brides en caoutchouc qui ont une élasticité parfaite. Elles sont disposées par couples alternatifs et passent dans des gorges pratiquées dans le corps même des rouleaux. C'est ce qu'on voit bien dans la figure 3714.

Les effets des brides élastiques sont ainsi expliqués à



3714.

l'inventeur. Supposez une irrégularité quelconque, par exemple que les rouleaux circonvecteurs ne soient pas de diamètre parfaitement régulier et par conséquent ne marchent pas tout à fait également sous la pression de l'arbre qu'ils supportent. Les brides élastiques cèdent sans inconvénient à ces légères variations, tandis que des liens inflexibles se déformeraient ou rompraient, en compromettant immédiatement le fonctionnement de l'appareil. Si, enfin, par suite de quelque secousse ou autre cause accidentelle, les rouleaux se sont un peu dérangés, ils reprennent, grâce à l'élasticité de leurs liens, leur équidistance et leur parallélisme (parallélisme qui ne peut guère varier grâce à la forme de la paroi concave) *dans la partie où ils roulent librement.*

C'est cette dernière condition qui limite singulièrement l'application du système. Il faut que les rouleaux soient libres dans une partie de la circonférence, et il faut être certain qu'ils rentreront sans difficulté et exactement au moment voulu dans la partie où ils ne sont pas libres. Il n'y a pas là une certitude suffisante pour les grandes applications, aux chemins de fer notamment, et le système ne nous semble applicable qu'à des appareils très-légers.

L'auteur a insisté avec raison sur l'utilité d'employer des rouleaux d'un assez fort diamètre pour éviter les effets d'écrasement qui se produisent avec de plus petits, M. Vicat ayant constaté par expérience que les résistances à la rupture des cylindres employés comme rouleaux sont proportionnelles aux produits de leurs longueurs par les diamètres.

S

SAC. Un ingénieux inventeur, M. Brével, a construit pour la fabrication des sacs en papier une machine fort élégamment combinée et qui peut fonctionner assez rapidement pour lutter avantageusement avec le travail de la main, malgré le bas prix de semblables façons.

Nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici le rapport fait par M. Duméry à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale sur cette machine.

Former un sac parfait, c'est-à-dire une espèce de tuyau carré fermé à l'une de ses extrémités et ouvert à l'autre, ce n'est pas autre chose que commencer un paquet, c'est-à-dire envelopper de papier un petit cube de la forme voulue, puis rabattre les quatre côtés sur un de ses fonds, et enfin coller le tout pour que, à l'encontre de l'enveloppe d'un paquet, il maintienne sa forme sans le secours d'une ligature extérieure de fil ou de ficelle.

Or, si l'on suppose que l'on ait construit une petite armoire, sans sol ni plafond, dont les dimensions extérieures soient exactement celles de l'intérieur du sac à confectionner, que cette armoire n'ait pas seulement ses deux portes à charnières, mais que les deux parois latérales, qui tiennent les portes, soient également articulées après le fond vertical de l'armoire, de manière à ce que les différents panneaux, qui ne sont, en réalité, que les diverses feuilles d'un même volet, étant complétement ouverts ou développés, puissent former, avec le fond vertical de l'armoire, qui seul est immobile, un seul et même plan.

Si l'on admet encore que, devant cet ensemble, on ait placé un petit cube de la dimension intérieure du sac, on aura une idée des principaux organes dont se compose le moule du sac qui forme le point de départ de la machine de M. Bréval.

Les choses étant dans l'état indiqué, c'est-à-dire les pans de l'armoire développés et formant un seul plan, si l'on introduit une feuille de papier entre ce plan et le cube placé au-devant; si les deux côtés latéraux de l'armoire viennent se raoger, se plaquer sur les deux surfaces latérales du petit cube, le papier sera ployé à angle droit et formera une espèce de gouttière triangulaire placée verticalement; si, le mouvement continuant, les deux portes de mouvement de l'armoire se ferment entièrement, le tuyau carré sera complété, et il n'y aura plus qu'à rabattre les quatre côtés du fond sur l'extrémité inférieure du cube, pour que le sac soit terminé.

Cette fermeture, cette clôture du fond se fait de la manière la plus simple : à la partie inférieure de chacun des quatre plans, c'est-à-dire dans le prolongement des panneaux de l'armoire, se trouvent appendus et articulés, par leur base, de petits triangles pouvant, en se repliant deux à deux, occuper la totalité du fond; et c'est effectivement ce qui a lieu dès que les quatre panneaux de l'armoire ont entouré le cube.

Dès que ces annexes ont accompli leur travail, elles sont abandonnées à elles-mêmes, redeviennent pendantes, les portes s'ouvrent, et le sac reste adhérent à son moule intérieur, duquel il faut le détacher.

Dans cette prévision, le petit cube ou moule intérieur a été construit contractable ou réductible de dimensions par l'effet d'un coin central. Ce coin, en plongeant de haut en bas sans entraîner les angles, laisse rapprocher ceux-ci dans le sens des diagonales pendant qu'il pèse intérieurement sur le fond du sac et le force à se détacher du moule pour tomber sur une toile sans fin qui le transporte hors de la machine.

Ici se termine l'opération relative au pliage mécanique du sac; mais il se présentait, pour arriver à la solution complète du problème, une difficulté dont M. Bréval a très-habilement triomphé. Nous voulons parler de l'application de la colle sur les diverses lèvres ou croisements de la feuille.

Appliquer la colle, dans un temps très-court, à la place qu'elle doit occuper, en quantité déterminée, et sans que les organes de la machine aient à souffrir de son voisinage, était une question capitale.

Reconnaissant que certaines colles de pâte sont composées de globules féculents et forment une réunion de petites vésicules gonflées ou remplies d'eau, que ces globules ainsi enflés peuvent rouler sur des surfaces métalliques sans les mouiller sensiblement, et surtout sans y adhérer comme le ferait de la gomme ou une matière plastique, M. Bréval, mettant à profit ces propriétés des colles féculentes, fait passer la feuille destinée à former le sac entre deux rouleaux métalliques : l'un de ces rouleaux est complétement lisse et ne sert uniquement que de pressoir; l'autre, également lisse dans la plus grande partie de sa surface, est gravé en creux seulement aux endroits où l'on veut déposer la colle, et tourne dans un bain de colle portant sur un de ses rebords une lame destinée à débarrasser les parties lisses du rouleau, de façon à ne laisser de colle que dans les parties creuses et striées.

Celles-ci la déposent sur la feuille comme le feraient les creux d'un rouleau d'impression sur étoffe, alors que la feuille avec laquelle on veut confectionner le sac lui est amenée par un système de cordons analogues à ceux des presses typographiques, et c'est au sortir de cette espèce de laminoir à encoller que la feuille descend, toujours conduite par des cordons, entre le plan développé des divers côtés de l'armoire dont nous avons parlé en commençant et le moule rectangulaire autour duquel doit se plier le sac.

Ces deux opérations d'encollage et de pliage constituent, en réalité, l'ensemble des fonctions de la machine; mais il n'est peut-être pas inutile d'indiquer l'ordre dans lequel elles se produisent en suivant la feuille de papier.

Placées sur une table inclinée, ces feuilles sont poussées l'une après l'autre devant une prise de cordons comme dans les machines typographiques; celle qui est saisie est conduite entre les rouleaux encolleurs. L'un d'eux la garde en contact pendant une portion de sa circonférence, de manière à lui faire opérer le mouvement de conversion nécessaire pour qu'elle descende verticalement entre le moule intérieur et le plan développé.

C'est là que commence le pliage.

Les parties latérales de l'armoire se reploient deux à deux contre le moule, et font de chaque côté un premier pli qui donne au papier l'aspect d'une gouttière rectangulaire; les deux portes de devant, continuent à envelopper le moule, achèvent le tuyau. Ce sont des bras mus par un arbre de rotation réglé par une came qui commandent ces mouvements. Enfin, les quatre triangles appendus à chacune des portes se reploient également deux à deux, relevés par des leviers posant sur des cames, et terminent le sac.

Les portes se rouvrent, le moule se contracte, le coin intérieur pousse les sacs un à un, lesquels tombent sur une toile sans fin, d'où ils ne sont enlevés, pour être placés sur des claies, qu'après avoir séjourné sur cette toile un temps suffisant pour que le collage ait commencé à prendre un peu de consistance.

Cette machine produit en moyenne vingt sacs à la minute, soit, en douze heures de travail, près de quinze mille sacs parfaitement confectionnés.

SANGSUES. Le prix des sangsues s'étant beaucoup augmenté dans ces dernières années par suite de leur destruction résultant d'une exploitation exagérée dans tous les pays qui en fournissaient autrefois de grandes quantités, on s'est occupé d'en élever dans les parties marécageuses de la Gironde et de la Charente, et on a obtenu les plus brillants succès.

Nous donnerons idée du mode d'exploitation adopté et des progrès qu'il y a encore à faire, en rapportant les observations consignées par M. Focillon dans le rapport du jury de 1855, après une enquête sur cette industrie.

« J'ai trouvé, dit-il, dans le département de la Gi-

fonde, une étendue de 5,000 hectares environ occupée par des marais à sangsues. Les eaux couvrent ces terrains tourbeux depuis le mois de septembre jusqu'au milieu de juin. En hiver, les sangsues, enfoncées dans la terre, échappent à tous les yeux; il n'y a rien à faire au marais; mais, dès les premiers beaux jours du printemps, elles reparaissent, pour la plupart, cherchant quelque proie. A ce moment on les *gorge*, c'est-à-dire que l'on pousse dans le marais des chevaux dont elles sucent le sang, en se fixant à leurs jambes. Ces chevaux, tous animaux de rebut, qui sont employés à ce dernier service, au lieu de passer par les mains de l'équarrisseur, succombent bientôt, et leur dépouille embarrasse le marais, d'où il faut la retirer, souvent avec beaucoup de peine. Quoi qu'il en soit, jusque vers le 15 juin, les chevaux se succèdent ainsi dans les marais; puis on fait écouler les eaux; le fond tourbeux, piétiné et défoncé par les chevaux, est mis à découvert pendant le temps où les sangsues pondent et déposent leurs œufs dans la terre, c'est-à-dire du 15 juin au 25 août environ. A peine les eaux sont-elles ramenées dans le marais qu'on se livre à la pêche; et, à mesure qu'elle a eu lieu dans un barrail, on y introduit de nouveau les chevaux, pour gorger les sangsues qui peuvent encore en avoir besoin. Aux premiers froids, on suspend tout et on attend le retour de la saison plus douce. Telle est, en quelques mots et dans son ensemble, l'industrie de l'élevage des sangsues. »

Voici les conclusions du rapport :

« 1° Dans le département de la Gironde, l'industrie de l'élevage des sangsues mérite, à tous les points de vue, d'attirer l'attention du pays et du gouvernement.

« 2° D'une part, elle a pour but la multiplication et la conservation d'une espèce utile, indispensable, que nous tirions en quantité insuffisante des pays lointains, après avoir épuisé les ressources de nos propres marais. La valeur commerciale de cet animal si utile augmentait tous les jours, de manière que les riches seuls pouvaient se procurer des sangsues; et un remède que rien ne remplace efficacement devenait de plus en plus un objet de luxe.

« 3° En même temps, cette industrie a pris un développement immense, et de grands intérêts y sont désormais engagés; ils doivent être pris en considération et sauvegardés le mieux possible.

« 4° Mais, d'une autre part, on est forcé de reprocher à l'industrie actuelle des sangsues deux choses également déplorables et qui compromettent son avenir : les *marais* et les *chevaux*.

« 5° Les marais offrent des inconvénients graves, au point de vue de l'élevage bien entendu des sangsues propres aux usages de la médecine; ils inspirent les craintes les mieux fondées et les mieux justifiées pour la santé publique, ils entravent le progrès agricole et l'assainissement du pays, en empêchant, au moins sur les bords de la Garonne, l'opération si utile du colmatage.

« 6° L'emploi des chevaux est un procédé odieux, insalubre, et qui, chez la plupart des éleveurs, donne un gorgement inégal et sans mesure, capable de compromettre la santé des annélides, qu'il est destiné à faire croître.

« 7° Le progrès consisterait, pour la nouvelle industrie, à élever les sangsues médicinales dans des marais beaucoup moins étendus, sans dessèchement temporaire; ou même à les élever sans avoir aucunement recours aux marais.

« 8° Il consisterait aussi dans la découverte de procédés d'alimentation ou gorgement capables de remplacer plus ou moins complétement les chevaux.

« 9° Des tentatives ont été faites dans ces diverses directions, et elles nous permettent d'espérer que cette belle industrie s'affranchira bientôt de ces deux conditions fatales et pourra faire jouir notre pays de ses bienfaits, sans entraîner avec elle ces abus redoutables qui nécessitent aujourd'hui une réglementation sévère et soulèvent les plus légitimes réclamations. »

SAVON. Pendant longtemps Gênes, l'Espagne, et plus tard Marseille, qui avait en quelque sorte hérité de leur privilége, fournirent, dit M. Balard, des savons en quelque sorte au monde entier. Mais les progrès de l'industrie devaient bientôt étendre partout la fabrication d'un produit dont le développement de l'aisance générale augmentait tous les jours l'emploi, et qui, contenant le tiers de son poids d'eau, rendait onéreux le transport à de grandes distances : aussi chaque pays a-t-il aujourd'hui ses fabriques de savon; aussi voit-on chaque jour, à côté des grands centres de production, en créer de nouveaux qui, chose bien remarquable, et qui atteste bien les progrès de l'aisance générale, l'emploi du linge, devenu de plus en plus général, fabriquent des quantités considérables de produits, tout en laissant les grands centres accroître aussi d'une manière rapide leur production.

La fabrication des savons fait usage de deux sortes de matériaux. Elle emploie, pour ses produits, des corps gras et des alcalis proprement dits, les seuls qui puissent donner, avec ces corps gras, des composés solubles dans l'eau. Ces alcalis sont la potasse, le seul qu'on pût se procurer, dans l'origine, dans les pays qui sont loin de la mer, et la soude fournie longtemps, d'une manière exclusive, par la combustion des plantes qui croissent dans les lieux salés, mais que la découverte de Leblanc a permis plus tard de fabriquer partout. Obtenus avec la potasse, les savons sont mous, et s'ils se prêtent éminemment au frottement des draps, au foulonnage, dans lequel le fabricant fait intervenir des quantités de matières déterminées en rapport avec la proportion de tissus qu'il traite, ils sont beaucoup moins aptes à servir au lavage dans l'économie domestique, où on ne pourrait pas régler leur emploi et où la friction, exercée par le savon sur l'étoffe, est une circonstance qui vient aider son pouvoir détersif. Cette consistance des savons dépend aussi de la mollesse plus ou moins grande des corps gras avec lesquels ils ont été obtenus.

Les corps gras qui entrent dans la composition des savons sont d'origines les plus diverses. A l'huile d'olive, la seule dont on faisait usage dans l'origine, sont venues s'ajouter successivement les huiles de graines les plus variées, de sésame, d'arachis, de lin, de navette, etc.; celles de palme et de coco, d'yllipé, de lentisque, etc.; les suifs animaux purs, ou provenant du traitement des os; l'axonge, dont les États-Unis importent en Europe des quantités considérables pour cet usage, ainsi que les graisses de charcuterie dites *flambarts*. Dans la composition de quelques savons spéciaux destinés surtout au lavage à l'eau de mer, on a fait entrer la résine, qui, à dose limitée, contribue à diminuer le prix de ces produits, sans en altérer la qualité. La fabrication de la bougie stéarique est venue, dans ces derniers temps, fournir aux savonniers un élément des plus utiles à la fabrication de leurs produits, dont la substitution, de plus en plus générale, de la bougie à la chandelle ne peut qu'accroître de plus en plus la production. Les corps gras sont souvent associés dans des proportions diverses, sans que le produit soit modifié dans les qualités essentielles qu'on recherche dans son emploi. La nature de ces corps gras n'exerce d'influence que sur les qualités accessoires qui, tout en lui conservant le même degré d'utilité, peuvent rendre son emploi plus ou moins agréable.

Les qualités essentielles qu'on demande au savon sont une aptitude à émulsionner les corps gras, qui rend sa solution susceptible de délayer les matières grasses qui altèrent nos tissus, et de désagréger les petits amas

de poussière auxquels elles servaient de lien, ainsi qu'une adhésion pour ces petits fragments de matière qui les rende susceptibles de sortir du tissu avec le plus de liquide, quand on exprime l'eau savonneuse dont les tissus étaient imprégnés. Les qualités accessoires sont de ne pas avoir de mauvaise odeur et de ne pas en acquérir par l'action de l'air à laquelle il doit être soumis; d'avoir une pâte homogène qui ne permette à l'eau de n'agir qu'à la surface, et une dureté qui lui permette d'exercer une friction utile à l'effet détersif à la surface du tissu.

C'est cet ensemble de qualités, que possèdent, à un haut degré, les savons d'huile d'olive, qui en avaient si généralement popularisé l'usage. On les retrouve aussi dans les savons d'huile de palme qui, pas plus que ceux d'huile d'olive, ne rancissent à l'air, et prennent même par la vétusté une odeur agréable. Sans avoir absolument les mêmes qualités, l'huile de coco peut intervenir d'une manière utile, et surtout, en s'alliant aux autres corps gras, fournir les éléments d'un bon savon. Mais on conçoit que si ces corps gras, et plus spécialement l'huile d'olive et l'huile de palme, se prêtent le mieux à la confection d'un excellent savon, les suifs, où domine toujours l'odeur des acides gras odorants; les huiles de poisson, plus odorantes encore; les huiles de navette et de lin, altérables à l'air et si disposées au rancissement; les graisses d'os, des qualités les plus infimes et odorantes, peuvent être, avec avantage, employés à la fabrication de savons susceptibles de servir à des usages grossiers divers; et l'on doit encourager toute tendance à profiter des matières grasses, même les moins pures, pour en fabriquer un savon possédant les propriétés essentielles de ce genre de produits.

On a cru pendant longtemps que la fabrication des savons consistait dans une combinaison pure et simple des corps gras et de l'alcali, et la pratique avait appris à préparer d'excellents produits avant qu'elle pût être éclairée par la théorie. Les beaux travaux de M. Chevreul sont venus, il y a quarante années, apprendre aux savonniers ce qu'ils faisaient, et montrer aux chimistes que ces corps gras se décomposaient sous l'influence de l'alcali, et que de cette décomposition résultaient des corps nouveaux dans la production desquels interviennent les éléments de l'eau, des acides gras se combinant avec la soude et constituant le savon, et un corps neutre, la glycérine, qui étrangère à ses propriétés. Les savons sont donc des sels, et l'on conçoit qu'on peut les obtenir dans un état de pureté plus ou moins grande, selon les méthodes employées pour leur fabrication.

La plus simple de toutes est celle que l'on emploie pour fabriquer les savons mous, à base de potasse, dont la production a certainement précédé celle des savons durs, savons dont l'usage pourra bien se maintenir dans les manufactures de draps, dans le foulonnage, mais qui sont destinés à disparaître de l'emploi domestique et à être remplacés par des savons doux, à base de soude, malgré la qualité qu'ils ont de communiquer une souplesse remarquable aux tissus qu'ils ont contribué à blanchir. Elle s'opère en faisant bouillir, dans des chaudières en fer à fond conique, des huiles de chènevis, de colza et de navette, etc., etc., avec des lessives de potasse caustique que l'on y introduit à trois reprises, en commençant par les plus faibles. Lorsque le mélange est parvenu à une consistance convenable, qu'il est homogène et transparent, on le coule dans des tonneaux pour l'embariller, après le refroidissement, et le livrer au commerce. Mais on conçoit qu'avec un pareil mode de fabrication, le produit doit contenir toutes les impuretés du corps gras, toutes celles qu'a apportées l'alcali, qui est aussi loin d'être pur, ainsi que la glycérine provenant de son dédoublement.

Ce fut une découverte réelle que l'observation de celui qui, utilisant, sans s'en douter, la faible solubilité des sels dans une solution saturée d'un sel de même base, se servit du sel marin ou des soudes salées pour précipiter le savon de soude, et obtenir ainsi ces savons dits *lavés sur lessives* ou *sur gras*, produit aussi pur que le serait un sel qui se serait cristallisé ou qu'on obtiendrait par précipitation, et qui abandonne dans les lessives qu'il surnage toutes les matières qui lui sont étrangères. C'est là la base du procédé dit à *la grande chaudière*, et dont il serait important de voir étendre et généraliser l'emploi.

C'est là le mode exclusif de fabrication des savons de Marseille.

Dans cette ville, où se sont conservés sans altération les procédés de fabrication dont une longue expérience avait appris l'utilité, on emploie ordinairement, pour la fabrication du savon, une partie d'huile et deux parties de cette soude brute, dite *sarennière*, qui est préparée dans les nombreuses fabriques de produits chimiques de cette localité pour cet usage spécial. La soude mêlée avec de la chaux est obtenue par un lessivage fait dans des réservoirs en maçonnerie, sous la forme de lessives caustiques plus ou moins concentrées, que l'on mêle de manière à obtenir une moyenne de 10 degrés. Dans des chaudières de 40 mètres cubes de capacité, dont le fond est en fonte et les parois en maçonnerie, on verse les 9/10es de cette lessive, et lorsqu'elle a été amenée à l'ébullition, on ajoute toute l'huile destinée à l'opération. Les deux substances se mêlent et se pénètrent, la masse devient pâteuse; de là le nom d'empâtage qu'on donne à cette première phase de la fabrication. La masse pourrait adhérer à la chaudière chauffée seulement par le fond et à feu nu et s'y brûler; mais l'ouvrier qui dirige l'opération emploie le dixième de la lessive qu'il a tenue en réserve, et en la versant au moment opportun, il empêche cette adhérence. Le premier effet de la solution alcaline a été d'émulsionner l'huile, c'est-à-dire de la rendre miscible au liquide aqueux. Dans cet état de contact intime de l'alcali et du corps gras, la saponification commence; mais, pour la rendre complète, il faut, après cette opération de l'empâtage, maintenir la masse à la température de l'ébullition de la lessive et cuire le savon. Quand cette cuisson, qui dure plusieurs jours, c'est-à-dire, quand la saponification est complète, on ajoute des lessives dites *salées*, qui ne sont presque en réalité qu'une solution de sel marin, dans lequel les savons de soude sont peu solubles; ce savon, par cette opération, désignée sous le nom de *relargage*, se sépare de son eau mère qui en baigne les petits fragments, et que l'on écoule par ce qu'on appelle l'*épinage*, au moyen d'un robinet placé au fond de la chaudière. Ce savon précipité est loin d'être pur; il contient, outre l'eau mère qui en baigne les fragments, le savon insoluble dont l'alumine et le fer que renfermaient les soudes ont pu déterminer la formation. Il faut donc procéder à la purification; c'est là la partie la plus délicate du travail. Enlever cette eau mère salée et la remplacer par des lessives faibles plus pures, dans lesquelles le savon puisse la dissoudre sans se dissoudre, purifier par le dépôt des matières insolubles, sans cependant absorber une trop grande quantité d'eau, est le but de l'opération, que l'on atteint plus aisément en ajoutant dans la chaudière des lessives plus fortes ou plus faibles, de manière à maintenir la liqueur à 17 degrés du pèse-sel environ. L'ouvrier, placé sur une planche qui traverse la chaudière, en pourra rompre, avec un agitateur de bois, la pâte savonneuse, tandis qu'un autre verse la lessive dans le sillon qu'il a fait, et cette opération se continue jusqu'à ce que la masse, qui présentait une agglomération de grumeaux, soit devenue homogène. Elle est alors maintenue chaude pour que,

conservant sa fluidité, elle puisse s'épurer par le repos.

Si cette épuration est complète, et si le fabricant, décantant en quelque sorte la couche supérieure du savon épuré dans un réservoir en maçonnerie, appelé *mise*, laisse au fond de la chaudière toutes les matières insolubles, mêlées à une certaine quantité de savon qui doit rentrer dans le roulement des opérations pour être épuré de nouveau, on obtient le *savon blanc;* mais si l'on arrête l'opération au moment où ce dépôt s'opère, ces flocons de savon insoluble de soude et d'alumine, saisis avant leur précipitation par la solidification du savon, et disséminés dans la masse d'une manière à peu près régulière par points, autour desquels s'est opérée l'agglomération de leurs particules, donnent lieu à cet aspect marbré régulier, qui implique la nécessité d'une solidification assez prompte, et dès lors l'absence dans ce savon d'une trop grande quantité d'eau qui l'aurait ralentie. Cette marbrure, en prenant l'aspect granitoïde, indique au contraire que le savon qui s'est solidifié trop vite contenait moins d'eau que quand il est marbré ; une teinte bleuâtre presque uniforme serait la preuve d'une solidification opérée trop promptement avant que les molécules insolubles se fussent déposées, et serait l'indice d'un savon contenant très-peu d'eau. On voit donc que la forme de cette marbrure, marbrure grenue, qui porte le nom de *madrure*, et qu'il ne faut pas confondre avec la marbrure artificielle dont il sera question un peu plus loin, donne au savonnier, sans autre analyse, la mesure de la régularité de la fabrication, et au consommateur la preuve que le savon ne contient pas ces excès d'eau contre lesquels il a tant d'intérêt à se prémunir, ainsi que la garantie d'avoir un produit toujours identique à lui-même. Ce savon insoluble, qui n'est en réalité qu'une impureté du savon, joue, comme on le voit, un rôle très-utile ; aussi les fabricants, obligés de substituer aux soudes naturelles qui contenaient abondamment les matériaux de leur production des soudes naturelles plus pures, ont-ils généralement adopté la coutume d'ajouter aux cuites pour les produire du sulfate de fer.

Ces procédés sont-ils arrivés à leur maximum de simplicité, et doit-on louer Marseille de ne les avoir modifiés en rien? Le raisonnement et l'expérience s'accordent pour montrer qu'ils sont susceptibles de quelques améliorations qui commencent à s'introduire dans ses fabriques en même temps que dans celles du nord de la France. Chauffage à la vapeur, addition, au tuyau d'épinage, d'un tube vertical destiné à introduire les liquides par le bas de manière à ne pas refroidir par l'agitation la pâte savonneuse, sont des modifications d'une faible importance; la plus sérieuse consisterait dans une plus complète lixiviation des soudes qui permettrait de ne pas rejeter des masses encore alcalines, comme aussi dans une caustification de la lessive qui, contenant souvent 8 à 10 pour 100 de carbonate indécomposé, doit concentrer dans les eaux d'épinage des produits alcalins que plusieurs fabricants de savon ont essayé d'utiliser. Les lessives, qu'il faut bien obtenir fortes en premier lieu pour que la moyenne puisse être employée directement à la saponification, ne se caustifient jamais d'une manière complète comme les lessives à 8 à 10 degrés que l'on peut amener aisément à un état de causticité presque absolue, sauf à les concentrer ensuite par l'évaporation pour leur donner le degré auquel elles doivent être pour servir à la fabrication. Cette double opération du lessivage et de la caustification se fera toujours du reste chez le savonnier d'une manière moins parfaite que dans les usines de produits chimiques; aussi la substitution à la soude brute de lessives de soudes parfaitement caustiques fournies par les grands centres de production de la soude apportera une simplification notable dans l'art du savonnier. La plus grande consisterait dans la suppression du sel marin, dont le rôle est inerte dans la saponification, et qui, s'accumulant dans des lessives, rend nécessaire l'écoulement d'un liquide qui entraîne toujours quelque chose d'utile.

Ce n'est pas seulement avec l'huile d'olive qu'on peut fabriquer des savons marbrés, le suif et la graisse se prêtent à la même fabrication. La saponification de ces corps gras est même plus prompte, et l'empâtage indispensable pour les huiles est ici inutile. On peut donc se servir de vieilles lessives de recuit les plus chargées pour que, la séparation des corps gras et de la lessive étant constante, les matières grasses, généralement de qualité très-inférieure, ainsi lavées, puissent abandonner à la lessive l'odeur désagréable qu'elles exhalent. Mais on conçoit que ces sortes de savons sont plus disposés à rancir, que les proportions notables de stéarate et de margarate les rendent plus grenues et dès lors plus disposées à se laisser pénétrer par l'eau et à s'y dissoudre sans utilité pour le lavage, qui doit surtout utiliser le savon desséché par la friction, et qu'elles ne jouissent pas de tous les avantages que possèdent les savons obtenus avec des corps gras plus mous, tels que l'huile et l'axonge, et présentant dès lors une pâte plus fine et plus homogène telle qu'elle existe surtout dans les savons obtenus avec l'acide oléique. On retrouve ces qualités dans ces sortes de savons composés de suif, d'huile de palme et de résine, si généralement employés en Angleterre, où leur production s'est maintenue dans les pratiques d'une fabrication loyale, tandis que leur introduction en France était suivie de fraudes toujours croissantes qui ont fini par faire repousser ce produit sur les marchés et par en annuler presque l'emploi. Ces sortes de savons, qui, lorsqu'ils contiennent de la résine dans les proportions de 13 p. 100 environ de leur poids, ont une pâte fine, bien liée et transparente, une odeur agréable et la faculté de produire une mousse abondante, ont bien vite perdu toutes ces qualités lorsqu'on y a eu introduit, en proportions considérables, de la résine dont la saponification n'était pas même toujours complète et qui d'ailleurs, n'étant pas un corps gras, ne neutralise l'alcali que d'une manière trop incomplète. Ils sont tombés bientôt en France dans un discrédit qui a laissé le champ libre à la fabrication marseillaise.

L'avenir des savons fabriqués avec les acides gras liquides provenant de la fabrication de la bougie stéarique ne saurait être aussi éphémère. Ces acides, pendant longtemps vendus à bas prix et sans emplois fructueux commençaient, d'après les conseils de M. Péligot, à être utilisés pour le filage de la laine, quand la persistance de M. de Milly à leur donner l'emploi le plus rationnel qu'ils puissent recevoir finit par faire adopter du public l'emploi de savons obtenus avec ces produits ; savons dont la production, liée nécessairement à la fabrication de la bougie stéarique, ne peut que s'accroître avec elle.

Le mode de fabrication de ces sortes de savons est facile, car la saponification est ici toute faite, et l'on n'a qu'à combiner l'acide gras avec la soude qu'on a soin de choisir dans un état de solution concentrée. Le reste de l'opération se pratique d'ailleurs comme dans le procédé suivi à Marseille. Quand l'opération a été bien faite, ce savon ne rancit pas, mais il a malheureusement une odeur caractéristique, celle qui est due aux acides volatils du suif. Sa pâte, fine et homogène, le rend d'une coupe très-douce, ne lui permet de dissoudre que par la surface, enfin sa consistance molle ne lui permet pas d'absorber, tout en contenant la solidité convenable, plus de 22 à 25 p. 100 d'eau ; il se présente donc comme plus riche en savon réel que le savon de Marseille et est préféré pour beaucoup

d'usages, à un prix même supérieur. Ce prix devra d'ailleurs subir toutes les diminutions que pourra déterminer l'abaissement des droits des huiles d'olive dans les savons fabriqués avec ce corps gras; car l'acide oléique est un résidu nécessaire de la fabrication de l'acide stéarique, et trouvera toujours dans la confection des savons son emploi le plus fructueux comme le plus rationnel.

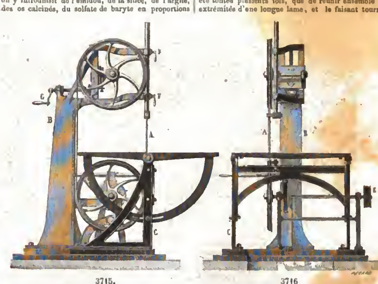
Puisque les procédés dits de *la grande chaudière* fournissent des produits définis et purs, comment caractériser le procédé dit de la *petite chaudière, à froid*, ou *par empâtage*, dans lequel le corps gras et la dose d'alcali nécessaire pour le saponifier sont ajoutés successivement, le savon soumis à la coction, et le produit obtenu sans séparation de la glycérine ou des impuretés du corps gras et de la lessive, et livré immédiatement à la consommation? On ne peut guère considérer ce retour au mode de fabrication, qu'il faut bien accepter pour les savons noirs, que comme un pas rétrograde fâcheux dans la fabrication des savons durs.

C'est à l'introduction de l'huile de coco dans la fabrication des savons et à un peu de fraude que ce pas rétrograde doit être attribué en France, du moins. Tant que la consommation des savons durs marbrés fut générale et que l'on n'y employa des savons blancs d'huile d'olive que dans quelques cas spéciaux, le commerce de la savonnerie fut loyal; la marbrure rendait la fraude impossible; mais dès que les progrès de l'industrie et du bien-être eurent fait fabriquer partout des savons unicolores, dans lesquels on pouvait introduire des poudres inertes blanches, sans en changer l'aspect et sans éveiller la crainte du consommateur, la falsification du savon ne connut plus de bornes; on y introduisit de l'amidon, de la silice, de l'argile, des os calcinés, du sulfate de baryte en proportions considérables, mais qui, faciles à reconnaître en plus simple essai, ont dû disparaître dès que l'huile de coco a permis de les remplacer par un des éléments mêmes du savon, c'est-à-dire par l'eau.

C.

Riche en acides gras des séries peu élevées, formant un savon plus dur, susceptible d'absorber beaucoup d'eau sans acquérir une consistance molle et difficile à séparer de l'eau par le sel marin dans lequel ce savon est moins insoluble que le savon ordinaire, l'huile de coco se présente aux savonniers comme un corps gras dont la saponification ne pouvait s'opérer industriellement que par des moyens plus simples que ceux de la fabrication ordinaire et dont le rendement, indépendant bien entendu de la faculté détersive, était considérable. C'est dire avec quel empressement elle dut être accueillie par les fabricants, désireux de donner à leurs produits l'appât d'un bon marché fictif, à la réalité duquel le consommateur est toujours d'autant plus disposé à croire, que ces savons ont une très-belle apparence, produisent une mousse abondante et semblent ne rien laisser à désirer pour leur qualité. Ils se fondent plus vite cependant, et manifestent en se délayant ou pouvoir détersif qui ne peut être évidemment que proportionnel à leur titre en savon réel; mais c'est là un défaut que reconnaissent bien vite, sans doute, l'industriel employant des masses de ce produit, la blanchisseuse même, qui est fin industriel d'un certain ordre, mais dont l'appréciation dut échapper longtemps à la mère de famille qui ne s'en sert pas dans son ménage d'une manière continue. Aussi ces savons de coco, altérés par un excès d'eau, sont-ils toujours vendus sous les noms de savon économique, savon des ménages, savon des familles.

SCIE CONTINUE. Les progrès de la fabrication de l'acier permettant d'obtenir facilement des lames de scie d'une grande longueur, c'est une combinaison qui se présente naturellement à l'esprit et qui, en effet, a été tentée plusieurs fois, que de réunir ensemble les extrémités d'une longue lame, et la faisant tourner sur deux poulies, d'obtenir une scie continue, en évitant ainsi les pertes de temps et de travail que cause le mouvement alternatif de la scie ordinaire. Plusieurs inventeurs ont, en effet, successivement attaqué la



3715. 3716

solution du problème; mais bientôt dans la pratique ces appareils avaient été abandonnés.

Il n'en est pas de même de M. Périn, qui, reprenant la question et y appliquant une grande dextérité et une grande expérience, a fondé au faubourg Saint-Antoine un établissement prospère où les surfaces les plus compliquées dont puissent avoir besoin les fabricants de meubles et les modeleurs, sont rapidement et parfaitement exécutées à la scie. Il a mis aux expositions des blocs de sapin débités en enveloppes concentriques, de formes variées, qui ont montré toute la puissance de ses procédés.

La rupture perpétuelle des lames était le grand obstacle au succès des scies continues; M. Périn, en employant des lames très-étroites, ce qui n'est avantageux que pour l'exécution des moulures, évite les grandes différences de traction des bords opposés, et en même temps la soudure devient une opération plus facile et moins dispendieuse. Mais le progrès réalisé dépend beaucoup, croyons-nous, de la grande vitesse de la lame, à laquelle cet ingénieux constructeur fait parcourir 4,000 mètres par minute. Le mode d'action de la scie sur les fibres du bois n'est pas le même à une semblable vitesse qu'aux faibles vitesses ordinaires, et le choc des dents les tranche parfaitement sans produire de réactions nuisibles sur la lame.

Pour obtenir une semblable vitesse, il faut que les deux poulies qui conduisent la scie soient exécutées et équilibrées avec le plus grand soin, la traction bien réglée, et au moyen de guides amortir les vibrations de la lame près de son entrée dans le bois, cause essentielle et fort importante de sa conservation. M. Périn les place le plus près possible du bois, à l'aide d'un porte-guide mobile, et la plate-forme sur laquelle on place le bois est elle-même mobile pour pouvoir le présenter toujours normalement à la denture de la scie. Les figures 3715 et 3716 représentent l'ensemble des dispositions employées par l'ingénieux inventeur.

SÉCHAGE *des étoffes par le contact des surfaces métalliques.* Clément, en appliquant une pièce de calicot pesant 2k,50 et contenant un égal poids d'eau, sur une plaque de cuivre d'une surface égale à la sienne, et chauffée par la vapeur à 100°, a obtenu sa dessiccation en une minute. On voit combien ce procédé peut être avantageux sous le rapport de la rapidité.

Dans les fabriques, on sèche les étoffes en les faisant passer sur des cylindres en fonte chauffés intérieurement par la vapeur.

D'après des expériences faites par M. Royer, vingt pièces de calicot sortant de la presse et pesant 150 kilog. ont été séchées en 3 heures et demie: leur poids a été réduit à 76 kilog., et les 74 kilog. d'eau ont condensé 402 kilogrammes de vapeur; de sorte que, en admettant qu'un kilog. de houille produit 5 kilog. de vapeur, la quantité d'eau qui mouillait l'étoffe vaporisée ainsi par kilogramme de houille a été de $5 \times \frac{74}{402}$ = 3k,63. La pression de la vapeur était de 1m,37 de mercure.

SILICIUM. M. Deville, continuant sa belle série de préparation des corps simples mal connus, est arrivé à obtenir le silicium en masse agglomérée.

La préparation se conduit de la manière suivante: on fait rougir un creuset de terre et on y verse un mélange fait avec soin de trois parties de fluosilicate de potasse, d'une partie de sodium coupé en petits fragments, et d'une partie de zinc en grenaille. Une réaction faible accompagne la réduction du silicium, et elle serait insuffisante à produire la fusion complète des matières mises en présence. Il faut donc chauffer le creuset en rouge et le maintenir pendant quelque temps à cette température jusqu'à ce que la scorie soit parfaitement fondue. A partir de ce moment on laisse la masse se refroidir lentement et on attend que la solidification soit complète pour casser le creuset. On trouve alors, comme produit de l'opération, un culot de zinc pénétré dans toute sa masse, et surtout à sa partie supérieure, de longues aiguilles de silicium. Ce sont des chapelets d'octaèdres réguliers emboîtés les uns dans les autres. Pour les extraire, il suffit de dissoudre par l'acide chlorhydrique le zinc qui sert de gangue et de faire bouillir le résidu avec l'acide nitrique.

Si l'on préfère chasser le zinc par distillation à haute température, le silicium reste dans le creuset, se réunit en culot et peut être coulé dans des moules; par ce moyen on obtient le silicium en lingots.

C'est ainsi que MM. Deville et Caron sont parvenus à se procurer en quantité notable une matière qui n'existait qu'en petits échantillons qu'on étudiait pour elle-même, mais qu'on n'osait sacrifier en vue des applications. Assurés de s'en procurer à volonté, les deux chimistes n'ont pas hésité à consacrer le produit de leurs opérations à étudier les propriétés que le silicium communique aux métaux usuels en s'y unissant. Jusqu'à présent c'est le cuivre qui a fourni les résultats les plus intéressants: 12 pour 100 de silicium rendent le cuivre cassant et blanc comme le bismuth. Mais à la dose de 4,8 pour 100, l'alliage possède une belle couleur bronze-clair; il est un peu moins dur que le fer, il se comporte à la lime, à la scie et au tour exactement comme le fer, tandis que le bronze ordinaire, beaucoup moins dur, graisse les outils. Sa ductilité est parfaite, il passe à la filière sans se rompre et il donne des fils d'une grande ténacité.

Les autres alliages deviennent d'autant plus durs que la quantité de silicium augmente, mais ils perdent en même temps leur ductilité. Ils sont tous également remarquables par cette particularité que le silicium est uniformément distribué dans toute la masse et ne donne pas lieu au phénomène de liquation.

SOLUBILITÉ DES GAZ. M. Bunsen, le savant chimiste d'Heidelberg, a inventé une méthode pour analyser les mélanges gazeux à l'aide de leur degré de solubilité dans l'eau. Il a repris à cet effet la détermination des solubilités des divers gaz et a fixé les coefficients de la formule empirique qui permet de déterminer les volumes dissous aux diverses températures. Nous lui emprunterons les chiffres qui se rapportent à la température de 10°, et à la pression 0,76, la solubilité étant directement proportionnelle à cette pression.

Gaz.	Solubilité en fraction du volume de l'eau.	Solubilité dans l'alcool (densité 0,792 à 20°).
Azote	0,01607	0,42276
Hydrogène	0,01930	0,06786
Oxygène	0,03250	0,28397
Acide carbonique	1,1847	3,5140
Oxyde de carbone	0,2635	0,20443
Protoxyde d'azote	0,9196	3,5408
Gaz des marais	0,04372	0,49535
Gaz oléfiant	0,1837	3,0859
Hydrogène sulfuré	3,5858	11,922
Acide sulfureux	56,647	190,31
Ammoniaque	812,8	»
Air atmosphérique	0,01953	»

On voit que les gaz les plus facilement liquéfiables sont en général plus solubles que ceux qui le sont moins. Ils offrent moins de résistance à passer à l'état liquide, mais l'effet ne saurait être proportionnel à la facilité de liquéfaction puisque le principal élément de la dissolution, leur affinité pour le liquide dissolvant, varie pour chacun d'eux.

SOLUBILITÉ DES SELS DANS L'EAU. Gay-Lussac a déterminé la solubilité des principaux sels dans l'eau aux diverses températures et a dressé le tableau que nous reproduisons ci-après. Le fait le plus remarquable qu'il ait constaté est celui qu'offre le sulfate de soude qui présente un maximum vers 33°. Mais on doit remarquer que ce sel offre alors une transformation, c'est-à-dire que le sel qui se précipite de la liqueur saturée au-dessous de 33° est du sulfate hydraté, et au-dessus de ce point du sulfate anhydre.

	Température.	Sel dissous par 100 parties d'eau.
Chlorure de potassium	0°	29,21
	19,35	34,53
	52,29	43,59
	79,58	50,93
	109,60	59,26
Chlorure de barium anhydre	15,64	34,86
	49,31	43,84
	74,89	50,94
	105,48	59,58
Chlorure de sodium	13,89	35,81
	16,90	35,88
	59,93	37,14
	109,73	40,38
Sulfate de potasse	12,72	10,57
	49,08	16,91
	63,90	19,29
	101,50	26,33
Sulfate de magnésie anhydre	14,58	32,75
	39,86	45,05
	49,08	49,18
	64,35	56,75
	97,03	72,30
Sulfate de soude anhydre	0,00	5,02
	11,67	10,12
	13,30	11,74
	17,91	16,73
	25,05	28,11
	28,76	37,05
	30,75	43,05
	31,84	47,37
	32,73	50,65
	33,88	50,04
	40,15	48,78
	45,04	47,81
	50,40	46,82
	59,79	45,42
	70,61	44,35
	81,42	42,96
	103,17	42,65
Azotate de baryte	0,00	5
	14,95	8,18
	17,62	8,54
	37,87	13,67
	49,22	17,07
	52,11	17,97
	73,75	25,01
	86,21	29,57
	101,65	35,18
Azotate de potasse	0,00	13,32
	5,01	16,72
	11,67	22,23
	17,91	29,31
	24,94	38,40
	35,13	54,82
	45,10	74,66
	54,72	97,05
	65,45	125,42
	79,72	169,27
	97,66	236,45
Chlorate de potasse	0,00	3,33
	13,32	5,60
	15,37	6,03
	24,43	8,44
	35,02	12,05
	49,08	18,96
	74,89	35,40
	104,78	60,24

En représentant ces résultats par des courbes tracées en prenant les températures pour abscisses et les solubilités pour ordonnées, on a des lignes qui indiquent à première vue les solubilités relatives des divers sels et la marche de l'accroissement de cette solubilité en raison des accroissements des températures.

SPHÉROIDAL (ÉTAT). Les travaux de M. Boutigny (d'Évreux) sur les phénomènes qu'on appelait autrefois de caléfaction, et qu'il rapporte à ce qu'il a nommé l'état sphéroïdal des corps, l'ont conduit à de résultats du plus haut intérêt qu'il a rapportés dans un volume qu'il a publié sous le titre d'*Études sur l'état sphéroïdal des corps*, et qui va nous permettre de compléter l'idée sommaire de ses curieux travaux, déjà indiqués à l'article VAPEUR.

Lorsque, après avoir chauffé au rouge une capsule métallique d'argent ou de platine, par exemple, l'on y verse quelques grammes d'eau, le liquide ne s'y étale plus et ne la mouille pas comme il le fait à la température ordinaire ; il prend la forme d'un globe aplati, ce que M. Boutigny exprime en disant qu'il passe à l'état sphéroïdal. A cet état l'eau prend un mouvement giratoire rapide et elle ne se vaporise plus que très-lentement, 50 fois moins vite que dans les cas ordinaires à 200°. Enfin si la capsule se refroidit, il arrive un moment où l'état sphéroïdal cesse ; l'eau mouille alors la capsule et une ébullition violente, une espèce d'explosion, se produit subitement.

Tous les liquides peuvent prendre l'état sphéroïdal, à des températures d'autant plus élevées que leur point d'ébullition est plus élevé. Pour l'eau la capsule doit être chauffée à 200° (et il se maintient jusqu'à 142°), pour l'alcool jusqu'à 134°.

Si l'on cherche à déterminer la température des sphéroïdes, on reconnaît qu'elle est inférieure à celle du point d'ébullition, quelle que soit d'ailleurs la température du corps qui les contient. Elle paraît d'ailleurs invariable et pour l'eau s'élève à 96°,5, pour l'alcool à 75,5, l'éther à 34°, environ 3 ou 4 degrés au-dessus du point d'ébullition. C'est cette propriété des liquides qui a conduit M. Boutigny à une bien curieuse expérience, que l'on ne peut jamais voir sans surprise, et qui consiste à changer de l'eau en glace dans une capsule chauffée au rouge blanc. Si l'on y verse de l'acide sulfureux liquide qui se vaporise vers — 10°, la température du sphéroïde qu'il forme sera inférieure à — 10°, et par suite une petite quantité d'eau versée dans celui-ci formera immédiatement un glaçon. L'expérience réussit encore dans le vide. On peut congeler de même le mercure avec l'acide carbonique.

Par une application directe des principes sur lesquels repose cette expérience, on peut :

1° Remuer dans l'eau, avec les mains, du verre incandescent qui constitue à l'état sphéroïdal l'eau qui l'approche.

2° Plonger le doigt dans le plomb fondu après l'avoir mouillé avec de l'éther, ce qui fait éprouver une sensation de froid.

3° De même couper avec la main un jet de fonte de fer sortant d'un haut fourneau.

Si l'on étudie expérimentalement ces curieux phénomènes, on reconnaît bientôt que le fait de la constitution de l'état sphéroïdal coïncide avec un écartement du li-

quide de la paroi échauffée; ainsi M. Boutigny a pu très-nettement voir la flamme d'une bougie entre l'eau et une plaque rougie. Il est donc naturel de supposer que la vapeur dégagée au contact de la goutte d'eau, dont la température est en raison de celle de la capsule, soulève l'eau, et la soustrayant ainsi par sa formation continue à l'action de la pesanteur, à peu près comme dans l'expérience de M. Plateau rapportée à l'article CAPILLARITÉ, permet à l'attraction de faire naître la forme sphérique. Ceci posé, étudions avec soin les mouvements de rotation dont M. Boutigny ne nous paraît pas avoir tenu un compte suffisant dans l'explication des faits :

La chaleur communiquée aux liquides produisant des mouvements moléculaires orbitaires, dans le cas où la pesanteur gêne ces mouvements, ils ne peuvent être, pour la plus grande part au moins, qu'horizontaux. Mais lorsque cet effet se trouve détruit, les mouvements résultant de l'échauffement peuvent se produire dans tous les sens : dans l'état de liberté engendré par cette cause, et de division de la masse en globules qui en résulte, ces mouvements orbitaires s'étendent et passent de l'état de mouvements moléculaires à la nature des mouvements de masse. Ceci seulement peut rendre compte de la puissance extrême des explosions produites, lorsque toute la chaleur de l'eau à l'état sphéroïdal, *plus la force vive emmagasinée à ce même état*, et repassent à l'état de forces vives atomiques, c'est-à-dire de chaleur, viennent à agir au même temps sur les parois du vase qui renferme l'eau. Sans cet élément de transformation de force vive en chaleur ou pression de vapeur, on ne peut se rendre compte de certaines explosions effrayantes, telle qu'une explosion de locomotive notamment brisant les rails et les enfonçant dans le sol par une pression énorme.

Les mouvements orbitaires sont manifestés, lorsqu'on projette une poussière fine sur les sphéroïdes, par des ellipses qui s'entre-croisent et se succèdent avec une grande rapidité, par des sons, variables en raison de la température, que rend la capsule dans laquelle est le sphéroïde.

Cette explication fait comprendre comment l'effet d'évaporation à la surface peut abaisser la température du sphéroïde au-dessous de celle du point d'ébullition du liquide, le chaleur rayonnante produisant principalement une force vive au lieu d'un échauffement, se transformant ainsi sans que la conversion en gaz ait eu le temps de se faire, mode habituel de communication de cet excédant de forces vives.

Nous ne croyons pas absolument nécessaire d'admettre avec M. Boutigny que les sphéroïdes sont maintenus en l'air par l'action répulsive du calorique rayonnant, ni encore qu'ils réfléchissent toute cette chaleur. La chaleur rayonnante, émise par une source de chaleur à une haute température, les traverse facilement pendant qu'une partie produit, croyons-nous, des accélérations de mouvements orbitaires généraux comme nous venons de le dire. La répulsion naissant au contact du liquide et du métal incandescent, par l'action de ressort qu'exerce la vapeur instantanément formée, nous semble parfaitement suffire pour rendre compte du phénomène de la suspension du sphéroïde, même dans le cas où M. Boutigny fait naître l'état sphéroïdal entre les spires non serrées d'un fil de platine.

L'intérêt de cette étude pour analyser certains cas d'explosion de chaudières à vapeur, difficilement explicables, doit nous faire entrer dans quelques détails sur l'étude expérimentale de ces curieux phénomènes.

Nous rapporterons ici l'expérience fondamentale :

Une petite chaudière, dont le fond est chauffé jusqu'au rouge par une lampe, est fermée par un bouchon à travers lequel passe un tube terminé à l'extérieur par une ouverture de 1/2 millimètre de diamètre par lequel passe un petit jet de vapeur qui ne paraît pas avoir de tension tant elle est rare, tant que l'eau mise dans la chaudière est à l'état sphéroïdal (fig. 3747). Aussitôt que la température est abaissée suffisamment, après qu'on en a retiré la lampe, pour que l'eau mouille la chaudière, un jet de vapeur d'une grande vitesse passe par le tube, et le bouchon est aussitôt jeté violemment en l'air malgré la présence de cette espèce de soupape de sûreté.



3747.

Une remarque très-importante est que la pression indiquée par le manomètre baisse brusquement lorsque l'eau passe de l'état ordinaire à l'état sphéroïdal. On comprend alors quel danger fait courir l'introduction d'une grande quantité d'eau froide ; la seule chance de salut est de supprimer l'alimentation, et, sans diminuer les feux, de vider la chaudière par tous les moyens dont on dispose.

M. Boutigny a conçu des dangers des explosions l'utilité de construire des chaudières sans eau. Il emploie à cet effet des cylindres portant à l'aide d'un axe central des diaphragmes percés de trous, dont la surface est alternativement convexe et concave. L'eau versée à la partie supérieure est vaporisée presque complètement avant d'arriver en bas ; malgré des surfaces de chauffe extérieure assez exiguës, ces chaudières ont donné des résultats assez satisfaisants. (Voy. *Guide du Chauffeur*.)

STÉRÉOSCOPE. L'idée première de cet instrument est due à M. Wheatstone ; il l'avait réalisée, dès 1838, sous une forme peu commode, il est vrai, mais suffisante pour faire ressortir le principe éminemment neuf qu'il avait introduit dans la théorie de la vision binoculaire. En effet, avant M. Wheatstone, les physiciens et les physiologistes ne s'étaient pas rendu compte, d'une façon suffisamment nette, de l'influence que la double impression reçue par l'organe visuel pouvait avoir sur l'appréciation de la forme que les objets présentent. On pensait bien que le mouvement plus ou moins grand de convergence, communiqué aux axes optiques des deux yeux pour les diriger en même temps sur un même objet, permettait de reconnaître la distance plus ou moins grande à laquelle il se trouve ; on savait aussi que les personnes privées d'un œil manquent de précision dans l'appréciation des distances et ne peuvent arriver à suppléer à la vision binoculaire que par le sentiment de la perspective

aérienne et par l'appréciation des effets de parallaxe produite par de légers déplacements de l'œil ; mais on n'avait pas pensé que la dissemblance entre les apparences produites sur les deux yeux par la vision d'un objet unique pût faire naître dans notre esprit le sentiment du creux ou du relief, ou du moins aider puissamment aux notions déjà fournies par la perspective et par le jeu des ombres et des lumières.

M. Wheatstone mit le premier ce principe en évidence, au moyen d'une série d'expériences ingénieuses qui se réduisent toutes à la combinaison suivante : tracez sur une même feuille de papier, à une certaine distance l'un de l'autre, deux dessins en perspective d'un même objet, tels qu'ils doivent être pour produire sur chaque œil l'impression correspondant à la vision de l'objet direct, puis, ramenez, par un moyen quelconque, les images de ces dessins sur les points des deux rétines qui sont impressionnées simultanément dans la vision de l'objet lui-même, et alors cet objet apparaîtra comme s'il existait réellement dans l'espace avec ses trois dimensions. Pour déterminer cette superposition apparente des deux images, il suffit d'agir par la volonté sur les muscles des yeux de façon à produire un degré convenable de strabisme. Cette faculté ne peut s'acquérir qu'avec un certain exercice, et peu de personnes y parviennent sans difficulté ; aussi M. Wheatstone eut-il la pensée de substituer, à ce moyen fatigant pour la vue, l'emploi d'un appareil propre à produire le même effet, et il imagina le stéréoscope à réflexion. Cet instrument se compose de deux miroirs, inclinés à 90°, dont l'arête d'intersection est verticale. On place les yeux devant le système de ces deux miroirs, de façon que la direction commune de la vision soit parallèle au plan qui divise en deux parties égales l'angle des miroirs. Les deux dessins sont placés latéralement à égale distance, l'un à droite, l'autre à gauche : leurs images apparaissent donc derrière les deux miroirs dans un plan perpendiculaire à la direction de la vision. Si elles sont placées à la même hauteur, il suffit d'un léger mouvement d'avant en arrière pour amener leur coïncidence apparente et, par suite, l'effet stéréoscopique.

Le stéréoscope de M. Wheatstone, malgré la simplicité de son principe, ne présentait pas une construction assez commode pour être utilisé autrement que comme appareil d'étude ; aussi, malgré tout l'intérêt que cette question devait présenter, ne fut-il construit en France que quelques-uns de ces appareils qui restèrent enfouis dans les cabinets de physique.

La disposition qui devait populariser le stéréoscope consistait à produire la superposition des images, non plus par réflexion, mais par réfraction ; en effet, avec cette disposition, le stéréoscope devenait un instrument portatif et commode.

Des essais furent faits dans cette direction par M. Wheatstone ; mais le but ne fut complétement atteint que par sir David Brewster. Cet éminent physicien imagina de couper en deux une lentille et de placer la moitié gauche devant l'œil droit, la moitié droite devant l'œil gauche, en laissant la ligne de section bien perpendiculaire au plan des deux yeux. De cette manière, les deux lentilles faisaient l'office de prismes, et tous les objets vus par l'œil droit étaient déviés vers la gauche, tous les objets vus par l'œil gauche étaient rejetés vers la droite. On pouvait donc, au moyen de deux dessins convenablement espacés et placés vis-à-vis des yeux, obtenir la superposition apparente des images et, par suite, l'effet stéréoscopique. Les lentilles avaient, en outre, l'avantage de rejeter les images à la distance de vision distincte en les grossissant, ce qui ajoutait à l'effet de l'instrument et permettait l'emploi de dessins plus petits et plus chargés de détails.

Quoique l'invention de M. Brewster datât de 1844, elle n'avait pas été appréciée en Angleterre, et ce fut en 1850 seulement que M. Brewster put trouver en France, chez MM. Soleil et Dubosq, le concours nécessaire pour exécuter cet instrument qui devait être plus tard si populaire.

Après avoir cherché, mais en vain, à obtenir des opticiens de Londres qu'ils construisissent le stéréoscope et qu'ils fissent exécuter, pour cet instrument, des épreuves binoculaires, M. Brewster apporta, à Paris, dans le printemps de 1850, un stéréoscope fait par M. London, opticien à Dundee, et un portrait photographique binoculaire du D[r] Adamson de Saint-Andrews, obtenu par lui-même ; il montra l'instrument, le portrait et quelques épreuves stéréoscopiques à M. l'abbé Moigno, à M. Soleil et à son gendre M. Dubosq, opticiens éminents de Paris. Ces messieurs saisirent aussitôt la valeur du nouvel appareil ; ils comprirent qu'il n'était pas un simple amusement, mais un puissant auxiliaire des arts, de la sculpture et du portrait. M. J. Dubosq construisit immédiatement pour le commerce un très-grand nombre d'appareils ; il produisit en même temps une série de très-belles images photographiques binoculaires représentant des personnes vivantes, des statues, des bouquets de fleurs, des objets d'histoire naturelle, etc. ; des milliers de personnes les virent et les admirèrent.

A la belle collection d'appareils d'optique qu'il présenta à la grande exposition de 1851, et pour laquelle il reçut une médaille de première classe, M. Dubosq avait ajouté un stéréoscope binoculaire construit sur les principes que M. Brewster avait posés. Le stéréoscope attira l'attention particulière de S. M. la Reine, et M. J. Dubosq exécuta pour elle un magnifique instrument que le physicien anglais lui présenta au nom de l'artiste français. Par suite de cette exhibition publique, M. J. Dubosq reçut beaucoup de commandes d'Angleterre, et un très-grand nombre de stéréoscopes lenticulaires furent ainsi importés dans cette contrée ; les demandes devinrent même si considérables, que les artistes anglais se livrèrent, à leur tour, à sa fabrication, et, en peu de temps, des milliers d'instruments furent vendus. Les détails qui précèdent sont extraits d'un article publié en mai 1852 par sir David Brewster dans une revue écossaise (*North british Review*).

Tel était, en mai 1852, le jugement de sir David Brewster sur la part que M. Dubosq avait eue dans le succès du stéréoscope, dit M. Lissajous, auquel nous empruntons cette intéressante étude. Méconnu d'abord en Angleterre, l'instrument de MM. Wheatstone et Brewster rentrait avec un éclatant succès dans son pays natal, grâce au concours habile et intelligent de cet artiste français.

A partir de ce moment, M. Dubosq s'occupa de perfectionner le stéréoscope, d'en étendre les applications, de faciliter les moyens d'exécution des dessins stéréoscopiques.

Le stéréoscope de M. Brewster convenait seulement à des dessins opaques, tels que lithographies, photographies sur papier ou plaques daguerriennes.

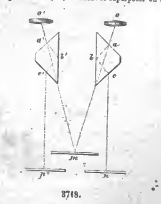
M. Dubosq eut l'idée heureuse d'évider le fond du stéréoscope de façon à placer, dans l'instrument, des images translucides obtenues sur verre albuminé. Ces images, à raison de leur transparence presque complète, laissaient passer les rayons venus des objets extérieurs, ce qui troublait la vision ; M. Dubosq plaça derrière l'épreuve un verre dépoli afin de diffuser la lumière ; dès lors l'illumination de l'image devint irréprochable, la netteté complète, l'effet saisissant. Cette importante invention a doublé le charme du stéréoscope. Qui de nous ne s'est oublié, dans un profond sentiment d'admiration et d'enthousiasme, devant

ces admirables vues des beaux sites de la Suisse, des grands monuments de l'Italie? Est-il un moyen qui puisse rendre plus complétement, dans un aussi petit cadre, les beautés de la nature ou les merveilles des arts?

Les effets stéréoscopiques peuvent, on le sait, être obtenus à l'aide du strabisme. Le stéréoscope évite le déplacement des yeux en déviant les pinceaux qui arrivent des divers points des images; or cette déviation doit être telle que les images occupent la même position dans l'espace à la distance à laquelle elles se font.

Il résulte de là qu'un stéréoscope, réglé pour un myope, ne l'est pas pour un presbyte, et inversement. Quand l'effet est satisfaisant pour une vue moyenne, les autres vues s'en accommodent par une légère déviation des axes optiques, qui se fait instinctivement par suite de l'habitude que nous avons de la vision binoculaire. Néanmoins cette accommodation exige une tension des muscles d'autant plus forte que la distance à parcourir est plus considérable; de là ce tiraillement des yeux et cette fatigue continue que certaines personnes éprouvent en regardant dans le stéréoscope. Il arrive même que, pour certaines personnes, la superposition ne peut pas se faire, malgré l'effort instinctif de l'organe visuel.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Duboscq a séparé dans le stéréoscope la partie de l'appareil qui produit la déviation de celle qui rejette l'image à la distance de la vision distincte. Dans le stéréoscope de M. Brewster, ces deux fonctions étaient remplies par les demi-lentilles; dans le stéréoscope nouveau, elles sont séparées. La déviation est produite par des prismes fixes, le grossissement par des lentilles, que l'on peut avancer ou reculer à volonté. Telle est la disposition représentée fig. 3718, telle évidemment que les deux images placées en n, n', viennent se superposer en m.



3718.

On peut donc, en déplaçant les lentilles, rendre l'effet satisfaisant pour chaque vue. Quand on opère avec ce stéréoscope, le relief se produit sans que l'œil éprouve de fatigue, pourvu que les lentilles aient une position convenable; mais, dès qu'on déplace le système, les yeux éprouvent un tiraillement qui augmente jusqu'au moment où ils ne peuvent plus maintenir la coïncidence des images, ce qui confirme les principes sur lesquels l'appareil est fondé.

Cette séparation du prisme et de la lentille a, en outre, permis de corriger un défaut qui se présente quand on regarde des épreuves de grande dimension. Par suite de l'effet prismatique, les lignes verticales et horizontales, comme, par exemple, les arêtes des monuments, paraissent courbées d'avant en arrière, comme si la partie moyenne avait reculé dans certaine quantité; cet effet, qui exagère la proportion de certains dessins parce qu'il fait fuir la partie centrale de l'image, s'explique de la manière suivante. Quand on regarde à travers un prisme une ligne verticale, elle paraît courbe, et la partie centrale est moins déviée que les parties extrêmes; cette impression, se produisant en sens inverse sur les deux yeux par l'effet prismatique des deux lentilles, donne donc le sentiment d'un arc curviligne dont le centre n'est pas sur le même plan que les extrémités.

M. Duboscq corrige ce défaut en donnant aux lentilles une légère inclinaison, de façon que les parties contiguës des deux lentilles soient plus près de l'œil que les bords opposés. De cette manière, les lentilles produisent dans les lignes de l'image une incurvation inverse de celle produite par les prismes; ces deux effets déterminent donc une compensation plus ou moins complète, et, par suite, une rectification satisfaisante. On peut donc, avec le stéréoscope ainsi disposé, obtenir de bons effets, même avec de grandes épreuves.

Nous devons signaler, en terminant, un perfectionnement important apporté par MM. Knight et Duboscq aux lentilles du stéréoscope. Autrefois les lentilles employées étaient de petit diamètre et montées sur des bonnettes susceptibles d'un mouvement transversal pour les amener à l'écartement des deux yeux. MM. Knight et Duboscq ont remplacé ces lentilles étroites par des lentilles à large surface qui viennent se toucher par leur bord: les bonnettes sont donc supprimées, et une cloison intermédiaire terminée à un double diaphragme permet d'écarter les images étrangères à la production de l'effet stéréoscopique.

SURCHAUFFE DE LA VAPEUR. L'idée d'employer la vapeur d'eau surchauffée, c'est-à-dire chauffée hors du contact de l'eau à un degré plus élevé que celui qui correspond à la saturation, est une de celles que les inventeurs reproduisent le plus fréquemment de nos jours. C'est assez dire que bien des conceptions qui ne sont pas fondées sur des lois physiques se produisent à ce propos; mais y a-t-il quelque emploi véritablement utile à faire de la chaleur surchauffée? C'est là une question intéressante à se poser et qu'a fort bien étudiée expérimentalement un ingénieux observateur, M. Hirn de Logelbach, près Colmar, dont les travaux sur les frottements et les machines à vapeur sont si justement remarqués parmi ceux qui remplissent les bulletins de la savante Société industrielle de Mulhouse.

La première observation de M. Hirn, observation parfaitement juste, c'est que la plupart des inventeurs se trompent grossièrement en combinant des dispositions propres à séparer la vapeur à surchauffer de celle qui remplit la chaudière, de manière à en élever la pression en même temps que la température. En effet, comme il faut toujours que la vapeur soit à une pression plus élevée dans le récipient dont elle sort que dans celui dans lequel elle entre, on voit que la pression ne saurait être sensiblement plus élevée dans la capacité où elle est surchauffée sans qu'il y ait difficulté d'y faire rentrer de nouvelle vapeur, d'autant plus que l'on voudra la chauffer davantage, ce qui nécessitera l'accroissement de surface et, par suite, de volume de l'appareil. Il faudra pourtant que le volume de vapeur d'un cylindre suffise pour permettre la rentrée de la vapeur de la chaudière, c'est-à-dire que l'accroissement de pression soit peu de chose; autrement il faudra une alimentation consommant une grande quantité de travail, parce qu'elle répondra à un grand volume, enfin un jeu de tiroirs au milieu

des parties fortement chauffées, c'est-à-dire où les huiles se décomposent et où il est impossible de les faire bien fonctionner.

Ainsi donc, on doit établir en principe que le surchauffage de la vapeur ne peut être raisonnablement tenté que pour la vapeur restant en communication avec la chaudière, avec la capacité qui reçoit l'eau d'alimentation.

Quel bénéfice peut-on retirer de ce mode d'opérer, qui, éloignant la vapeur de son point de saturation, lui communiquant en partie les propriétés de gaz permanents, augmente un peu la quantité de chaleur qu'elle renferme sous le même poids ?

Au point de vue de la machine à vapeur théorique, c'est-à-dire de celle dans laquelle la détente serait poussée jusqu'à la liquéfaction de toute la vapeur, l'avantage serait nul, le travail étant toujours en raison de la chaleur employée. Ce n'est donc qu'au point de vue de la pratique que la surchauffe peut offrir quelques avantages qui proviennent de ce que la chaleur de surchauffe pendant l'action directe de la vapeur est toujours utilisée, qu'elle ne fait pas partie de celle qu'on ne peut utiliser à cause de la nécessité de limiter la détente.

Voici les avantages que M. Hirn a constatés dans ses expériences :

1° Vaporisation de l'eau entraînée par la vapeur à l'état vésiculaire et dont la chaleur est perdue ; cette quantité n'est presque jamais inférieure à 5 pour 100 et est souvent bien plus considérable.

2° Réchauffement des parois du cylindre à vapeur refroidi par la détente et la communication avec le condenseur. Cette action, bien que répondant à une partie de l'effet de l'enveloppe, ne dispense nullement de celle-ci ; elle ne peut la remplacer pour fournir de la chaleur à la vapeur qui continue à se détendre après que l'on est revenu au point de la saturation de la vapeur.

3° Augmentation de volume de la vapeur pour une même pression, ce qui conduit (surtout avec un large emploi de l'enveloppe pleine de vapeur saturée, la seule qui dégage beaucoup de chaleur par son refroidissement qui produit une condensation) à une diminution de dépense de vapeur et aussi de combustible, surtout s'il s'agit d'un système de machine à vapeur dans laquelle l'action directe produit la majeure partie du travail utile.

M. Hirn a constaté, dans toutes ses expériences, une économie produite par l'emploi de la vapeur surchauffée. Cette économie a varié de 5 pour 100 pour une machine de Wolf (enveloppe vide de vapeur), genre de machine qui n'éprouve pas de refroidissement dans le petit cylindre, où la vapeur agit par action directe et qui n'est jamais en communication avec le condenseur, à 22 pour 100 pour la même machine avec vapeur saturée dans l'enveloppe. Pour une machine de Watt sans enveloppe, l'économie a dépassé 30 pour 100. Le plus grand intérêt de ces expériences est de bien montrer la très-grande influence des masses métalliques qui renferment la vapeur et de leur refroidissement qu'on est trop disposé à négliger en considérant la machine à vapeur comme une machine abstraite. Nous citerons à ce sujet les observations de M. Hirn.

« Pendant que la vapeur afflue de la chaudière au cylindre, les parois et le piston se mettent au moins à la température qui correspond au point de saturation ; car la vapeur ne peut cesser de s'y condenser que quand ce degré est atteint. (L'écart de 1/2 ou 3/4 d'atm. entre la chaudière et le cylindre si fréquemment observé est dû à ce refroidissement à l'entrée.) Au moment où les communications sont coupées et où la détente commence, ces parois se trouvent en contact avec de la vapeur dont la température baisse ; le calorique qui s'y était accumulé et celui que produit le frottement du piston sont donc cédés en partie à la vapeur en détente. Il s'ensuit que dans aucune machine la vapeur ne se détend sans recevoir de calorique. »

Il suit de là que de la vapeur surchauffée renfermant sous un même volume une moindre quantité de chaleur, la température du cylindre (sans enveloppe) n'est pas nécessairement plus élevée que quand on emploie de la vapeur saturée, ce qui explique plusieurs anomalies que présentent les expériences.

L'analyse de l'effet de la chaleur sur les masses en contact avec elles conduit M. Hirn à recommander une disposition déjà réalisée avec succès, et qui consiste à substituer quatre tiroirs (deux d'admission de vapeur et deux de sortie) au tiroir unique généralement employé aujourd'hui. On évitera ainsi des espaces perdus considérables et surtout de mettre de la vapeur à 120, 150, 200°, pour ainsi dire en contact avec de la vapeur à 60° au plus. C'est un contre-sens palpable et très-grave de faire passer la vapeur rejetée des cylindres par une boîte métallique entourée de vapeur d'admission. C'est augmenter les pertes qui résultent nécessairement du refroidissement du cylindre et de sa mise en communication prolongée avec le condenseur.

Dans toutes ces expériences la surchauffe n'a jamais dépassé 240°, et ce n'est qu'avec les plus grands soins que l'on peut même employer pratiquement la vapeur à cette température. C'est qu'en effet l'emploi de la vapeur surchauffée offre des inconvénients graves dans la pratique, qui y ont fait renoncer tous les constructeurs qui avaient cru reconnaître qu'elle pourrait produire des économies analogues à celles que M. Hirn a constatées. En effet :

1° La vapeur surchauffée emporte une quantité beaucoup plus considérable de *vapeur de graisse ou d'huile* que la vapeur saturée, inconvénient grave dans la pratique.

2° La vapeur saturée, outre qu'elle emporte toujours un peu d'eau en globules, se condense partiellement sur tous les corps dont la température est inférieure à la sienne. Pendant la marche d'une machine, l'eau ainsi amenée ou condensée s'interpose entre toutes les pièces frottantes en rapport avec la vapeur, les lubrifie et ferme absolument comme un enduit gras les passages peu considérables ; elle rend ainsi hermétiques les fermetures des pistons, des tiroirs qui ne le seraient pas autrement ; en gonflant les étoupes des garnitures des tiges, elle les rend beaucoup plus propres à joindre exactement. La vapeur surchauffée, au contraire, est un gaz essentiellement sec qui ne possède pas cet avantage ; elle se fraye, et en grande quantité, une route là où la vapeur saturée ne peut pas passer. De plus, en raison de sa température, loin de mouiller les étoupes des garnitures, elle les sèche et les brûle promptement si l'on ne prend pas les précautions nécessaires pour éviter cet inconvénient.

M. Hirn a reconnu qu'avec des garnitures en étoupe bien faites (les garnitures métalliques ne peuvent être employées que difficilement pour de grands pistons), bien graissées, on peut, et c'est la limite supérieure, surchauffer la vapeur à 240°. Il l'amène à ce degré par une circulation dans des tuyaux plongés dans la fumée (et ne pouvant être atteints par la flamme qui les brûlerait).

Nous pensons que dans la pratique on doit toujours adopter une légère surchauffe, 30 ou 40° au-dessus du point de vaporisation ; on arrive ainsi à faire disparaître la vapeur vésiculaire, et à réchauffer le cylindre dans lequel travaille la vapeur, avec un grand profit et sans aucun des inconvénients graves que présente dans la pratique l'emploi de la vapeur fortement surchauffée. C'est, ce nous semble, le résultat que l'on doit tirer des intéressantes expériences de M. Hirn ; c'est ce qui est en partie obtenu avec des chaudières tubulaires à la

partie supérieure quand le réservoir de vapeur est très-grand, genre de disposition tout à fait à recommander pour obtenir des avantages notables dans la pratique.

Chaudière à vapeur sphéroïdale de M. Testud de Beauregard. — Cet inventeur, sous l'influence des phénomènes étonnants présentés lors du passage des liquides à l'état sphéroïdal, avait combiné un système propre à utiliser la puissance en apparence illimitée qui apparaît lors des explosions attribuées à cet état. La pratique, comme une théorie plus avancée le fait bien concevoir, n'a pu conduire qu'à faire naître des quantités de travail proportionnelles aux quantités de chaleur communiquées au liquide, et a fait disparaître des espérances mal fondées d'effets sans rapport avec leur cause. Toutefois de nombreux essais de chauffage de chaudières ne renfermant pas d'eau, à des températures élevées, l'analyse des causes de destruction rapide, ont conduit cet inventeur à l'établissement d'une chaudière extrêmement remarquable. Elle offre les avantages 1° d'être sans eau et par suite à l'abri de toutes chances d'explosion; 2° de pouvoir fournir immédiatement une grande quantité de vapeur; 3° de fournir de la vapeur surchauffée, mais qui ne peut dépasser une limite de température déterminée. Enfin nous ajouterons, en attendant des expériences positives, que cette chaudière paraît devoir être dans de bonnes conditions au point de vue de l'économie du combustible, vu la conductibilité des masses métalliques qui la constituent. Tous ces avantages font de cette chaudière un appareil très-précieux pour tous les cas où la vapeur doit agir seulement par action directe ou sans détente prolongée, et l'on sait que c'est, dans la pratique, le cas du plus grand nombre de machines. Je montrerai plus loin pourquoi il en est ainsi; quant aux avantages ci-dessus annoncés, ils résulteront manifestement de la seule description de l'appareil, étant admis toutefois, ce qui est vrai en partie, que l'emploi des garnitures métalliques permet sans trop d'inconvénient, dans le cas de pistons de dimensions modérées mais avec une grande vitesse, l'emploi d'une vapeur sèche et chaude; surtout si, comme l'inventeur dit l'avoir observé, les grippements ne sont pas à craindre lorsque la température de la vapeur reste constante et que ce sont surtout les variations de température qui les font naître.

La chaudière dont il s'agit, formée d'un cylindre vertical à fond plat, porte à sa partie inférieure un bain d'étain fondu. Dans celle que nous avons vue et qui était destinée à une machine de 10 chevaux environ, il y avait 600 kilog. d'étain, c'est-à-dire, lorsqu'il est fondu 600 × 14,25 = 8550 calories emmagasinées par la chaleur latente de l'étain et qui sont au besoin communiquées instantanément à de l'eau à vaporiser, le point de fusion de l'étain étant 235°. Le fond de la chaudière sur lequel repose cette masse métallique, et qui était rapidement détruit avant son addition, est préservé contre les altérations que peuvent produire des variations peu considérables de température par sa masse même, et pour des changements considérables, par un tube central, percé d'orifices bouchés par du plomb coulé, qui fond et laisse sortir la vapeur qui met en jeu le sifflet d'alarme si la température s'élève à 330°, point de fusion du plomb. Disons que les fuites par les rivets qui assemblent le fond ont été évitées par l'emploi d'un cercle sertisseur mis à chaud sur des rivets à tête perdue.

L'eau n'est pas injectée directement sur l'étain, mais sur une plaque en tôle qui recouvre une partie du bain métallique et qui a la même température que celui-ci. L'eau se réduit donc instantanément en vapeur à une température voisine de celle de la fusion de l'étain, dont une couche se solidifie un instant près de la surface supérieure, et est bientôt liquéfiée de nouveau par suite du facile passage de la chaleur du foyer à travers la masse métallique. La vapeur saturée à cette température aurait une pression de 25 atmosph. environ. La chaudière n'étant disposée, ne recevant de l'eau que pour obtenir des pressions bien moindres, de 3 atmosph. par exemple, la vapeur formée est en réalité de la vapeur surchauffée, renfermant une quantité de chaleur qu'il sera facile de calculer en ajoutant à celle nécessaire pour vaporiser l'eau, sous la pression existant dans la chaudière, celle nécessaire pour l'amener à la température observée. On obtient ainsi un volume considérable, comme dans une machine à air chaud, sans perdre l'avantage d'une alimentation peu coûteuse, vu le faible volume de l'eau.

Posons quelques chiffres approchés pour bien établir la marche des phénomènes.

Supposons que la vapeur formée soit à une pression telle qu'elle renferme 637 calories au kilog. à saturation, et soit surchauffée de 150°, qu'elle renferme en nombres ronds 75 calories par surchauffe. Elle se sera dilatée de $\frac{150}{267}$ de son volume primitif qui est $1^{m},7$ pour un kilog. à 100°, aura un volume de $2^{m},75$, dilatation qui consomme sans profit la partie de la chaleur spécifique qui tend à demeurer sous forme de tension (voyez CHALEURS SPÉCIFIQUES), et est défectueuse, d'après le principe fondamental de Carnot sur la production du travail à l'aide de la chaleur.

En calculant le travail de l'action directe, comme nous l'avons indiqué à MACHINE A VAPEUR, au lieu de le trouver égal à 123 calories utilisées sur 637 ou 18 pour 100, il paraîtra être de 200 calories utilisées sur 637 + 150 = 787 ou 25 pour 100. L'avantage sera, on le voit, notable.

Si maintenant nous supposons qu'on fasse détendre le gaz de manière à réaliser les 75 calories sensibles de la surchauffe, on aura en appliquant la loi de Mariotte

$$\frac{2^{m},75 \times 10330}{440}\left(\text{Log.}\ \frac{V_1}{V_0}\right) = 75, \text{ d'où}$$

$\text{Log.}\ \frac{V_1}{V_0} = 0{,}34$ et $\frac{V_1}{V_0} = 1{,}41$. Ainsi on pourrait voir croître le travail de près de 0,34, c'est-à-dire l'amener à 33 pour 100, ce qui serait un beau résultat supérieur non à celui possible dans les machines à détente, mais à celui réellement obtenu dans la plupart. Mais il est facile de reconnaître que la loi de Mariotte donne ici un résultat trop grand, et qu'on devrait tenir compte de l'abaissement de température qui diminue la pression; dans ces conditions, une détente de 0,40 du volume primitif n'est pas admissible.

Une fois la chaleur de surchauffe consommée par la détente, que reste-t-il dans le cylindre? De la vapeur primitivement saturée, qui, en partant des chiffres ci-dessus, serait passée du volume $1^{m},70$ au volume $2^{m},75 \times 1{,}41 = 3{,}87$, c'est-à-dire détendue de 2,2 son volume primitif, par suite, d'après les tables, n'ayant plus qu'une pression de 0,45 atm. au lieu de 0,71 que supposerait la loi de Mariotte, sans variation de température. Cet effet se manifeste bien lorsqu'on laisse échapper cette vapeur à l'air; à une distance de moins d'un mètre on éprouve une véritable sensation de froid, comme avec un gaz comprimé.

Ceci montre l'impossibilité d'employer avantageusement la détente avec de la vapeur surchauffée, effet qui sera d'autant plus sensible qu'on aura plus mis à profit ce moyen d'accroître le volume. La théorie revient par cette conséquence à celle des machines à air, comme on eût pu le prévoir *à priori*.

Cette conséquence explique très-bien une propriété curieuse de la vapeur sphéroïdale que l'inventeur ne désigne guère de ce nom que parce qu'il la voit se comporter dans ce cas différemment de la vapeur ordinaire;

je veux parler de sa facile condensation. La vapeur, dit-il, refroidie subitement, forma un vide presque absolu dans un condenseur, quoique l'eau réfrigérante y soit portée à la température de 90 à 95 degrés.

Il y a ici exagération; mais il résulte de ce qui précède que la vapeur surchauffée sortant de la machine et amenée dans la capacité du condenseur s'y trouve à une pression peu élevée, est très-détendue; que, par suite, l'action d'un condenseur par contact paraît infiniment plus énergique avec cette vapeur qu'avec la vapeur saturée, sans qu'il y ait là un phénomène nouveau qui échappe à la théorie ordinaire. Il en résulte toutefois l'avantage, comparativement aux machines à faible détente, qu'il faut moins d'eau pour la condensation, pour un volume donné de vapeur, et que les pertes en eau chaude sont par suite moindres.

On voit que les chaudières que nous étudions offrent des résultats assez intéressants pour donner à penser que l'industrie pourra les employer avec avantage.

Disons que pour injecter convenablement une petite quantité d'eau, l'alimentation se règle au moyen d'un robinet fermant plus ou moins le tuyau d'arrivée partant d'un réservoir cylindrique dans lequel elle est comprimée par un poids constant, que l'inventeur appelle pompe d'équation et qui reçoit directement l'eau de la pompe alimentaire, eau chaude qui provient de la vapeur condensée dans le condenseur à surface métallique.

Machine à gaz hydrogène. — Je dirai ici quelques mots d'une intéressante machine récemment inventée dans laquelle une petite quantité d'eau à haute température se trouve employée, mais qui est bien plutôt une machine à explosion qu'une machine à vapeur, malgré la similitude d'aspect intérieur.

La grande quantité de chaleur qui, dans la machine à vapeur et surtout dans le fourneau où se produit la vapeur, se dissipe extérieurement et sans produire d'effet utile, a fait chercher par plusieurs inventeurs à produire la vapeur à l'intérieur de la machine, de manière que la totalité de l'effet mécanique produit par la chaleur fût utilisée. Nous avons déjà parlé de la machine Pascal. Une autre machine, solution directe du problème posé ci-dessus, avait jadis été construite par MM. Nièpce, qui lui avaient donné le nom de *Pyréolophore*. Voici à peu près en quoi consistait cet appareil : (Nous empruntons cette description à une note de la brochure de S. Carnot : *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, 1824.)

« C'était un cylindre muni d'un piston, où l'air atmosphérique était introduit à la pression ordinaire. L'on y projetait une matière très-combustible, réduite à un grand état de ténuité, et qui restait un moment en suspension dans l'air, puis on y mettait le feu. L'inflammation y produisait le même effet que si le fluide eût été un mélange d'air et de gaz combustible, d'air et d'hydrogène carboné par exemple; il y avait une sorte d'explosion et une dilatation subite du fluide élastique, dilatation que l'on mettait à profit en la faisant agir tout entière contre le piston. Celui-ci prenait un mouvement d'une amplitude quelconque, et la puissance motrice se trouvait ainsi réalisée. Rien n'empêchait ensuite de renouveler l'air et de recommencer une opération semblable à la première.

« Cette machine, fort ingénieuse et intéressante surtout par la nouveauté de son principe, péchait par un point capital. La matière dont on faisait usage comme combustible (c'était la poussière de lycopode, employée à produire des flammes sur les théâtres) était trop chère pour que son avantage ne disparût pas par cette cause; et malheureusement il était difficile d'employer un combustible de prix modéré, car il fallait un corps en poudre très fine, dont l'inflammation fût prompte, facile à propager, et laissât peu ou point de cendres. »

L'auteur de la description ci-dessus sentait bien que la vraie solution était dans l'emploi de gaz combustibles, mais il n'ose s'y arrêter, à cause du danger, de l'absence de toute mesure des phénomènes d'explosion, et de la difficulté de produire à volonté l'inflammation, au moyen d'un corps enflammé, d'un gaz si difficile à coercer dans un espace limité.

M. Lenoir, l'inventeur de la machine dont nous voulons parler, a eu le mérite de juger que l'explosion ne produisait d'effets qu'en raison de la proportion du gaz combustible et de l'air, de la quantité de chaleur dégagée, et par suite pouvait être maîtrisée; en second lieu, qu'il possédait dans l'électricité, et surtout dans les machines de Rumkorf et de Clarke, un moyen facile de produire une étincelle, et par suite l'inflammation du gaz lors d'une position déterminée du piston.

La machine à gaz consiste dans un cylindre recevant à chaque extrémité un tuyau amenant du gaz d'éclairage, et fermé par un tiroir qui laisse sortir du gaz au moment où le piston commence à s'éloigner de l'extrémité voisine. De l'air arrive par un tuyau plus gros dans la proportion de 10 à 1 par rapport au gaz. Quand une quantité suffisante est entrée, les tiroirs sont fermés, et une étincelle provoquée par un appareil de Rumkorf, dont un fil isolé traverse le fond du cylindre, vient déterminer l'inflammation et l'explosion génératrice de chaleur, de travail mécanique, par la haute température, et par suite la pression de l'air, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau. En faisant varier l'arrivée du gaz d'éclairage au moyen d'un robinet, on fait grandir à volonté l'explosion, ce qui montre bien qu'on est maître de la diriger, de la régler à volonté.

Des actions alternatives sur les deux faces du cylindre se répétant produisent une machine fonctionnant avec une parfaite régularité et susceptible de tous les mêmes emplois que la machine à vapeur.

Si l'on cherche à apprécier l'avenir réservé à cette heureuse invention, à cette réalisation pratique, par une ingénieuse combinaison de progrès scientifique, d'un problème posé depuis longtemps, on remarquera d'abord les grands avantages qu'elle offre d'être applicable dans des cas où la machine à vapeur ne peut être employée ou est trop chère d'établissement à cause de la chaudière, du fourneau, de la cheminée, etc. L'industrie parisienne particulièrement, qui peut avoir le gaz à bon marché et en tous lieux, devra en profiter pour multiplier avec grand profit les forces motrices dans les plus petits ateliers.

Une objection se présente toutefois pour la réalisation de ce progrès considérable. La température de l'explosion est si élevée que les surfaces métalliques entre lesquelles elle se répète s'échauffent beaucoup. Pour amoindrir cet effet, et éviter le grippement de piston qui se produirait malgré un graissage répété et coûteux, il faut refroidir le corps de pompe, en faisant couler de l'eau sur lui d'une manière continue, condition impossible à remplir dans les cas d'application dont je viens de parler. Il faudrait faire naître l'explosion plus loin du piston, et, par l'interposition d'un matelas d'air, amoindrir l'effet calorifique sur le cylindre, pour éviter cet inconvénient.

Au point de vue de l'économie absolue, il paraît difficile que cette machine lutte avec la machine à vapeur. Les points de départ sont trop différents, et c'est ce qu'il est facile d'établir en évaluant les quantités de chaleur, seul élément à considérer. La combustion d'un mètre cube de gaz d'éclairage dégage par mètre cube 12000 calories d'après Dulong, soit 17000 calories par kilogramme. Il coûte à Paris 30 centimes le mètre, soit 43 centimes le kil. En supposant ce prix élevé, une usine spéciale pour la production du gaz, grevée de frais généraux, le fera revenir toujours à plus de 20 ou

25 centimes, soit 10 centimes pour 7500 calories qu'un kilog. de houille du prix de 2 à 3 cent. peut produire. Il faudrait une bien grande économie à l'emploi pour qu'une semblable différence pût être compensée et qu'un perfectionnement de la machine à vapeur ne lui rendît pas bientôt la supériorité.

T

TANNAGE. M. Knapp, qui a fait sur le tannage d'intéressantes recherches, pour arriver à formuler la théorie de cette opération si obscure jusqu'à ce jour, a mis hors de doute quelques principes fondamentaux que nous allons rapporter.

Le but qu'on se propose d'atteindre par l'opération du tannage est double. Il faut d'abord détruire autant que possible les tendances de la peau à se putréfier, puis faire que, lorsqu'elle se sèche, elle reste maniable, élastique.

C'est à tort que l'on veut considérer les opérations effectuées comme constituant seulement une véritable réaction chimique, que l'on veut voir dans la peau un corps s'unissant au tannin ou aux matières tannantes, et le comparer à la gélatine; on a été même jusqu'à dire que le cuir ordinaire est du tannate de gélatine, etc.

Il suffit de la simple discussion des faits connus pour démontrer combien cette manière de voir est éloignée de la vérité. D'abord, les os acidulés, qui donnent de la gélatine aussi bien que la peau, ne sont pas susceptibles de donner un produit qui, de près ou de loin, ressemble à du cuir, quelle que soit la quantité de tannin, quel que soit le temps du contact. Puis, les sels de fer et d'alumine qui tannent le cuir ne précipitent pas la gélatine; enfin, la graisse qui tanne parfaitement bien n'a aucun rapport avec le tannin.

Pour M. Knapp, la matière tannante a seulement pour fonction d'envelopper les fibres de la peau, de telle manière que leur adhérence devienne impossible, et que la peau conserve sa qualité maniable après la dessiccation, ou tout au moins puisse la retrouver par une action mécanique; ce qui est pour lui le vrai caractère du tannage. Pour démontrer sa proposition, il a institué une série d'expériences dans le but de tanner la peau sans l'emploi de substances tannantes.

En considérant que les filaments ne se collent que lorsqu'ils sont pénétrés par l'eau, il est arrivé à l'idée de mettre la peau détrempée en contact avec un liquide (l'alcool ou l'éther, par exemple) qui, chassant l'eau par endosmose, pût ôter par cela seul aux filaments cette propriété de se coller. Selon ses prévisions, il a obtenu par la seule action de l'alcool une peau mégissée bien blanche, d'une constitution telle, que tout praticien est forcé de la reconnaître comme peau mégissée. Or, c'est bien là le vrai cuir sans matières tannantes, qui dans l'eau redevient peau et par la cuisson se change en colle.

Cette dernière expérience prouve surabondamment que le tannage n'est pas une action chimique, que c'est une opération qui produit la conversion de la peau, que la dessiccation rendrait cornée, en une matière qui reste flexible, malgré la dessiccation. Quant aux autres qualités que le cuir peut prendre dans l'opération du tannage, telles que l'imputrescibilité, etc., on peut dire qu'elles ne sont pas absolument inhérentes à la nature du cuir; elles ne sont d'ailleurs que relatives, et on les obtient à des degrés variables, selon les produits employés et selon les épreuves que la peau doit subir.

On comprend qu'en outre du caractère de cuir, la peau reçoive de l'action des sels métalliques d'autres propriétés, qu'elle devienne, par exemple, relativement imputrescible; les sels d'alumine et de chrome étant des antiseptiques et formant d'ailleurs autour des filaments une enveloppe qui les préserve du contact de l'air et les rend moins hygrométriques. On comprend aussi qu'une peau soit plus ou moins bien tannée : ainsi, par exemple, il n'est pas plus difficile d'admettre qu'un cuir tanné *au tan* résiste mieux au carbonate de soude qu'un cuir préparé au tannin, que d'admettre qu'une matière tinctoriale (bon teint) tienne mieux à la laine qu'une autre (mauvais teint), sans que l'on veuille pour cela admettre deux modes d'action dans la teinture ou deux modes d'action des substances tannantes.

En dernière analyse, : 1° le tannage n'est pas une opération chimique. Le cuir tanné n'est pas plus du tannate de gélatine que le cuir mégissé n'est une combinaison de gélatine avec le sous-sulfate d'alumine.

2° La preuve en est dans les faits suivants :

Certaines matières qui peuvent, comme la peau, se convertir en colle, ne donnent pas de cuir.

Les matières tannantes ne sont pas absorbées par la peau en proportions définies.

Les divers sels tannants ne s'unissent pas à la peau en raison de leur équivalent chimique.

Les sels tannants, le tannin lui-même, peuvent par des lavages être séparés du cuir, de manière que celui-ci redevienne peau.

Les corps gras qui n'ont aucun rapport avec les composés astringents tannent le cuir, et cela sous des poids minimes.

Les peaux peuvent acquérir les propriétés que donne le tannage sans l'emploi de composés tannants.

Enfin, des substances peuvent s'unir à la peau et la rendre imputrescible et non susceptible de former de la gélatine, sans pour cela lui donner les qualités du cuir.

Pour l'auteur, le cuir diffère de la peau sèche en ce que dans celle-ci les fibres sont adhérentes les unes aux autres, tandis que dans celui-là elles restent isolées les unes aux autres; le rôle de la matière tannante est de produire et de maintenir cet isolement.

TEINTURE. On connaît sous le nom de teinture l'art de communiquer aux diverses matières textiles des colorations variées. M. Chevreul définit la teinture, l'*art d'imprégner, aussi profondément que possible, le ligneux, la soie, la laine et la peau, de matières colorées qui y restent fixées mécaniquement ou par affinité chimique, ou enfin, à la fois, par affinité et mécaniquement.* (Travaux de la commission française, t. V. *Tapisseries*, p. 51.) Nous aurons à traiter de cette partie très-importante de la science industrielle, dans ses rapports avec les divers tissus que l'homme a su, par de persévérants efforts, introduire dans les usages domestiques, le lin, le chanvre, le coton, parmi les matières textiles d'origine végétale, la soie, la laine, parmi les matières textiles d'origine animale. Nous ne devons mentionner ici que pour mémoire les matières textiles d'origine minérale, comme les verres filés, les asbestes, les amiantes, etc., matières qui, comme la soie, la laine, le coton, ont été transformées en tissus. La colo-

ration de ces substances n'est pas du domaine de la teinture.

La coloration des fibres textiles, par certaines matières colorantes déterminées, n'est pas le résultat d'une simple superposition mécanique. Nous démontrerons par la suite que si l'étoffe peinte ne peut être considérée d'une manière absolue comme un composé chimique parfaitement défini; elle doit l'être au moins comme le produit de l'affinité réciproque de l'étoffe et de la couleur. C'est là ce qui distingue la *teinture* de la *peinture*.

Mais pour que les couleurs puissent s'unir aux tissus et contracter une adhérence, sans laquelle il n'y a pas de teinture, il faut qu'elles soient présentées dans un très-grand état de division, tel que celui, par exemple, qui résulte de la dissolution du principe utile dans un liquide approprié. La porphyrisation de la matière colorante et sa suspension dans l'eau, même dans tout autre liquide, ne sauraient convenir pour autre chose que le cas des colorations artificielles obtenues par simple pénétration de la couleur dans les alvéoles des fibres textiles. Ce ne sera que le cas exceptionnel : il n'y a là, en effet, qu'un cas particulier de teinture.

Pour obtenir des teintes belles, solides, uniformes sur les fils et sur les tissus de coton, de chanvre, de lin, de laine et de soie, il faut que ces matières soient complétement, convenablement au moins, dépouillées de toutes substances étrangères, colorées, grasses, gommeuses ou résinoïdes qui s'y trouvent naturellement, ou que le tissage ou le filage y ont introduites, et qui feraient obstacle à la fixation des couleurs dont on voudrait les teindre. Les matières textiles doivent donc être soumises préalablement aux opérations du blanchiment.

L'art de la teinture embrasse ainsi pour le savant, comme pour l'industriel, des connaissances excessivement complexes. L'un et l'autre, en effet, doivent faire une étude approfondie des principaux caractères des matières textiles elles-mêmes, tant au point de vue des opérations du blanchiment, qu'à celui plus spécial de la teinture proprement dite. N'importe-t-il pas de savoir comment ces éléments se comportent, lorsqu'on les expose à l'action des divers réactifs pendant les opérations du dégraissage, de la décoloration et de la teinture, soit par voie d'immersion, soit par voie d'impression directe ou par l'intermédiaire des mordants ?

N'importe-t-il pas encore, pour l'un et l'autre, d'approfondir les propriétés des matières colorantes organiques ou minérales; ne faut-il pas savoir les préparer, les purifier, déterminer leur valeur commerciale et apprécier les fraudes auxquelles donnent lieu les transactions dont elles sont l'objet? Aujourd'hui la confection seule des extraits de bois de teinture constitue l'une des plus importantes industries dont le chimiste puisse désirer connaître les secrets.

Nous aurons à distinguer dans l'art de la teinture des principes que la science a posés, que l'industrie accepte et dont elle ne s'écarte pas; ces principes forment un corps de doctrine reconnue par les fabricants, que les notions scientifiques professées dans tous les centres industriels ont rendus familiers aux idées de progrès.

La teinture ne se pratique pas seulement sur les fibres en laine, en flocons, en fils ou tissus, pour l'obtention des colorations uniformes. Souvent elle doit conduire à la reproduction de couleurs dans lesquelles on fait intervenir les procédés de teinture proprement dite, et ceux de l'impression, lorsqu'on applique par les voies mécaniques, ou des réserves ou des enlevages. Nous aurons donc à considérer dans leur ensemble les diverses méthodes employées à l'impression des tissus. Ici nous aurons à faire apprécier les diverses phases du mordançage, des réserves, des enlevages, combinées avec les opérations du fixage des mordants, de l'avivage des couleurs et de leur fixation.

Nous terminerons cet article par un examen aussi complet que possible des moyens d'essai que fournit la science à l'industrie pour la guider dans la recherche des méthodes employées dans la fabrication ou dans la teinture.

J'ai pensé qu'il était convenable, pour faire comprendre l'importance des industries que nous allons étudier, de grouper des chiffres qui permettent d'apprécier d'une manière exacte les progrès qu'ont réalisés, depuis le commencement de ce siècle, les industries du coton, du lin, du chanvre, de la laine et de la soie; progrès auxquels assurément ne sont pas restés étrangers les perfectionnements apportés dans l'art de la teinture et de l'impression pendant la même période. A ces deux industries nous associons celles qui concernent le blanchiment et la confection des matières tinctoriales.

Bien qu'il ne rentre pas dans notre cadre de traiter *ex professo* des diverses phases par lesquelles passent les diverses matières textiles pour prendre la forme de fils ou de tissus, nous pensons devoir extraire des rapports officiels contenus dans les travaux de la Commission française près l'Exposition de Londres, en 1851, des chiffres exacts qui fixent d'une manière bien positive l'influence qu'exercent sur la classe ouvrière, sur son bien-être, et sur la circulation générale des capitaux, les industries du blanchiment, de la teinture et de l'impression sur étoffes. Ces industries reçoivent directement et successivement les fils et les tissus, consommés rarement sans avoir été blanchis, apprêtés, teints ou imprimés.

Le programme très-étendu que nous venons d'exposer nous donne toute latitude pour développer sans répétitions oiseuses des faits connus, les progrès réalisés dans les diverses branches qui, par leur ensemble, constituent l'art de la teinture. Cet article sera donc complété, pour ceux qui désireront en faire un *tout* presque synoptique, par la lecture des deux premiers volumes du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*. Nous aurons soin, du reste, de renvoyer aux articles déjà parus, pour plus amples informations. Nous aurons, par cette méthode, toute possibilité d'intercaler avec ordre les nombreuses observations, tant théoriques que pratiques, qui ont pris place dans la science et dans l'industrie depuis 1855, et qui ont trait, soit au blanchiment, soit à la teinture proprement dite, soit à l'impression, soit encore à la préparation mécanique ou chimique des matières tinctoriales. Nous commencerons par l'étude des faits commerciaux qui nous semblent propres à démontrer l'importance des industries qui s'occupent des matières textiles. Nous la ferons suivre d'observations nouvelles sur les propriétés de ces matières considérées au point de vue chimique. La découverte de nouveaux principes propres à dissoudre ces matières pourra un jour jeter les plus vives lumières sur la nature des phénomènes de la teinture proprement dite.

§ I. DES MATIÈRES TEXTILES

Considérées dans leur développement industriel et leur rapport avec les opérations de la teinture.

Coton. — L'industrie du coton, originaire de l'Inde, ne s'introduisit que lentement et tardivement en Europe, d'abord par les Maures qui, dans le dixième siècle tentèrent de la naturaliser en Espagne. De nouveaux essais furent faits dans le quatorzième et le quinzième siècle en Italie et dans les Pays-Bas, mais sans qu'il en résultât aucune industrie de quelque importance.

C'est en 1569 que la première balle de coton fut importée dans le Royaume-Uni : en 1641 la fabrication était complétement installée sur une grande échelle à

Manchester. En 1678, on y tissait environ 900,000 kilogrammes de coton par an. Mais, à cette époque déjà, de nombreuses réclamations s'élevaient contre l'introduction des tissus de coton des Indes; on demanda la prohibition qui ne put être décrétée qu'en 1700 : à l'ombre de cette protection, l'industrie se développa tellement qu'en 1851 elle représentait 700 millions de francs d'exportation, et 600 millions de francs de consommation intérieure. En France à la même époque cette même fabrication ne représentait que 50 millions d'exportation, mais 580 millions de consommation intérieure. Dans ce premier chiffre figurent beaucoup de tissus de coton teints ou imprimés. Ainsi, pendant 1849, les toiles peintes figurent pour 900,000, et en 1850 le même article figurait pour une somme de 1,488,540 francs.

La consommation par habitant de France en 1790 était 1/5 de kilogramme, lorsqu'en Angleterre chaque habitant disposait de 1 kilog. 1/2.

L'enquête de 1834 a constaté que 34 millions de kilogrammes entraient à cette époque dans les manufactures françaises et qu'ils arrivaient au consommateur pour une somme de 600 millions. En Angleterre 125 millions de kilogrammes sont mis en œuvre, 72 millions sont exportés, c'est-à-dire 450 millions de francs.

Alors la France spécialisait dans l'industrie cotonnière la perfection du travail, l'amélioration des fils; l'Angleterre au contraire spécialisait la production à bon marché. Dans ces deux voies différentes depuis 1816 chacune de ces deux nations avait triplé sa production et réduit ses prix de moitié. Elles étaient arrivées au même résultat.

En récapitulant depuis 1816 jusqu'en 1849 les chiffres qui représentent la mise en œuvre des cotons en Europe M. Mimerel (rapport sur l'Exposition de Londres) a dressé le tableau suivant comprenant des périodes décennales :

En 1816.	80	millions de	kilogrammes
1826.	140	dito	dito
1836.	216	dito	dito
1846.	500	dito	dito
1849.	540	dito	dito

Ce n'est pas seulement le climat qui détermine l'emploi des tissus de coton; la civilisation exerce aussi son influence sur cette partie de la consommation publique et cette observation explique l'importance que nous attachons à ces documents statistiques. En effet, si le bas prix du vêtement de coton est cause de son emploi fréquent par le peuple, la souplesse du tissu, la délicatesse des couleurs qui le teignent, le rendent propre encore à l'usage des classes plus aisées. On en pourrait déduire, avec M. Mimerel, que le bien-être et la richesse d'une nation peuvent dans certaines limites se mesurer d'après l'importance de leur consommation en tissus de coton.

A l'appui de cette opinion je reproduis ici le tableau qui résume par nationalité la consommation de chaque habitant :

Angleterre . .	2 k.	1/2	Autriche . . .	1 k.	1/4
Belgique . . .	2	»	Suisse.	1	1/4
France	1	1/2	Espagne. . . .	1	»
Zollverein. . .	1	1/2	Russie	»	1/2

Nous observerons relativement à la France que, plus élégante dans ses habitudes, sa population se vêt avec des tissus plus fins, c'est-à-dire d'une plus grande superficie pour un même poids. « Si les habitudes de « l'Angleterre pénétraient chez nous, la consommation « s'élèverait pour chaque habitant au delà de 2 kilog. »

En cherchant à faire l'évaluation des salaires attribués à l'industrie du coton, on trouve que la masse filée et tissée par année s'élève à 485 millions de kilogrammes ayant une valeur de 6 francs l'un, ce qui fait plus de 3 milliards. La valeur des matières premières et des substances tinctoriales est environ de 800 millions; il faut déduire la valeur du loyer et l'intérêt des capitaux engagés. Il reste environ 2 milliards. En France, où la consommation représente 630 millions, la part des salaires est donc d'une importance considérable, environ 378 millions.

L'Amérique et la Russie sont sans doute appelées à changer cet état de choses, et peut-être dans un avenir assez rapproché. La première possède le coton, et la seconde jouit de la main-d'œuvre à des prix très-faibles. Aujourd'hui les Américains importent en Chine pour 10 à 12 millions de francs de tissus non imprimés; lorsque leurs tissus imprimés seront plus satisfaisants ils en introduiront beaucoup plus; l'exportation dans les Indes est tellement menacée qu'on a dû protéger les produits de la métropole par une différence de 5 pour 100 sur les droits qu'ils payent à l'entrée. Les produits anglais payent 5 et les produits américains 10 pour 0/0.

L'Angleterre cherche à conjurer ce danger qu'elle voit grossir à l'horizon; elle veut introduire dans l'Inde, en même temps qu'elle favorise son exportation, les cotons d'Amérique en les naturalisant. Jusqu'ici ses essais sont restés sans résultats, malgré de nombreux sacrifices; car il y va du chômage de ses nombreux ateliers dans un avenir plus ou moins prochain, si par la suite leur alimentation reposait sur le bon plaisir d'une nation rivale; l'Angleterre ne s'arrête pas devant les obstacles que lui présente la nature transformant sur le sol des Indes les longues soies de l'Amérique en espèces à duvet très-court. Elle appelle le chimiste à son aide et dès 1851 un fabricant anglais présentait à l'Exposition des produits obtenus avec le lin et possédant l'aspect du coton.

Ce que tente l'Angleterre dans les Indes, la Russie l'essaye dans ses provinces du Caucase. Dès 1849 on filait à Moscou, en cotons indigènes, presque la dixième partie des cotons que l'empire russe tout entier consomme annuellement.

La France, plus heureuse que l'Angleterre, a l'espoir de posséder dans sa colonie d'Alger les plus belles ressources pour produire le coton; c'est assurément une conquête agricole et industrielle bien capable de payer les sacrifices de sang et d'argent que le pays s'est imposés. Ces considérations ont une certaine importance; car la substitution de cotons nouveaux à ceux auxquels on a recours aujourd'hui, pour la filature et le tissage, conduira à des modifications dans les rapports de ces matières textiles avec les matières colorantes. Nous reviendrons sur cet intéressant sujet, en nous occupant de la teinture proprement dite. (Voyez Coton.)

Lin et chanvre. — Plus de trente années s'étaient écoulées depuis que le filage mécanique du coton avait transformé l'industrie anglaise; des progrès considérables avaient été signalés dans la main-d'œuvre et dans la qualité du travail, et, de ce côté du détroit, peu de distance séparait notre industrie de celle de la Grande-Bretagne. Le lin avait résisté; il restait encore dans le domaine de la quenouille et du rouet. Cependant la filature du lin devait ouvrir un nouvel avenir à nos manufactures et le prix d'un million de francs pour l'inventeur de la filature mécanique du lin ouvrit les yeux sur l'importance de la question. M. Philippe de Girard réalisa les conditions du programme, et s'il fut privé des récompenses auxquelles lui donnaient droit et son génie et sa persévérance, il ne faut en accuser que les préoccupations qui pendant les années 1812 et 1813 absorbaient la France et son gouvernement.

Avant comme après Philippe de Girard, on avait proposé divers systèmes en vue de la filature mécanique du lin; mais quelques-uns d'entre eux n'avaient pour but que d'appliquer à la filature mécanique du lin les

méthodes en usage dans la filature du coton. L'entière réussite devait au contraire avoir pour base et pour point de départ ce que la pratique avait appris dans la filature à la main; il fallait faire exactement ce que fait la fileuse elle-même : aller chercher dans la poignée de lin la petite quantité de brins dont elle a besoin, les démêler, les tendre et les humecter avec de la salive. Inventés en 1810, comme le prouvent les brevets pris à cette époque par Philippe de Girard, puis appliqués à Paris, en Autriche, en Saxe, ces procédés, basés, d'une part, sur l'emploi de peignes qui basculent les uns sur les autres, vont chercher et étirer les filaments pour les conduire au cylindre étireur, d'autre part, sur l'emploi de l'eau tiède pour dissoudre la matière glutineuse qui soude les fibrilles composant le filament de lin, ces procédés restèrent inconnus en Angleterre jusqu'en 1819. Des documents irrécusables prouvent en effet que c'est dans la période qui sépara 1820 de 1824 que la filature mécanique du lin fut établie dans le Royaume-Uni. Des essais plus ou moins heureux avaient été faits, mais ils ne conduisirent pas à des résultats complets. L'invention ne doit dater que du jour où la révolution s'est accomplie, et nous avons dit qu'elle l'avait été par l'emploi de l'eau chaude et des peignes sans fin créés par Philippe de Girard. Telle est la part de la France dans l'application de la mécanique à la filature du lin. La part de l'Angleterre est considérable, surtout dans les perfectionnements, car c'est elle qui a réglé les machines préparatoires, c'est elle qui a complété le système de l'assortiment des machines, c'est elle encore qui a trouvé le filage à sec des étoupes.

L'importance du blanchiment dans ses rapports avec les étoffes de lin motive l'exposé que nous allons présenter ici des détails sur l'importance de l'industrie linière en Angleterre comme en France. Ces détails sont extraits presque textuellement du rapport de M. Legentil sur l'Exposition universelle de Londres en 1851.

Si la France a tardé trop longtemps à s'approprier la filature mécanique du lin, la Belgique et l'Allemagne ont encore montré moins d'empressement. On trouve la cause de cette situation dans la culture même du lin très-répandue sur ce territoire. Le lin était filé, puis tissé manuellement par des ouvriers débiles, ce travail s'alliant du reste aux travaux des champs; les capitaux d'ailleurs étaient beaucoup moins pressés de se porter sur cette industrie exercée déjà dans des conditions d'un salaire très-modique.

En Angleterre de nombreux et très-habiles mécaniciens, une population ouvrière familiarisée depuis longtemps avec l'usage des machines, la vue de fortunes colossales créées par l'exploitation de l'industrie cotonnière, tous ces puissants mobiles entraînèrent les spéculateurs. L'Angleterre marcha donc d'un pas ferme dans cette carrière, après avoir pris une avance considérable sur toutes les autres nations.

L'accroissement annuel de la filature et du tissage du lin devrait être le plus puissant encouragement à la culture de cette matière textile dans les pays qui la cultivent et la mettent en œuvre. Il n'en est cependant rien, comme le prouvent les données statistiques qu'on a pu recueillir. Une des grandes difficultés de la culture du lin réside dans l'opération du rouissage; c'est tout à la fois une cause de retard dans la solde du travail du producteur, une cause d'insalubrité dans la localité qui se charge de miasmes, surtout lorsque le rouissage s'opère dans des eaux stagnantes.

Depuis 1847 des essais ont été faits pour faire disparaître les inconvénients de cette préparation; l'eau chaude proposée par M. Schenck n'exige déjà plus pour les tiges de lin que soixante heures d'immersion. En 1850, M. Donlan a proposé le broyage mécanique du lin qui sépare la tige ligneuse du filament, et qui supprime le rouissage; on file la filasse à sec, et l'on fait bouillir le fil avant le tissage. Ce moyen ne peut servir qu'à l'obtention de fils très-communs. Enfin, M. Claussen propose de plonger la tige dans une solution chimique appropriée; trois heures d'immersion suffisent pour détacher la filasse de la tige ligneuse qu'elle enveloppe. Il va plus loin : il blanchit complétement la filasse, la divise et la *cotonise* en quelque sorte. Mais y a-t-il avantage à faire du coton avec du lin? pourquoi ne pas réserver le cœur du lin qui produit un élément textile plus précieux que le coton?

De toutes les nations, celle qui cherche le plus actuellement à répandre la culture du lin est l'Angleterre; elle fonde ses espérances de succès sur la division du travail; on veut séparer les deux industries, celle de la production du lin et celle de la préparation de cette matière textile. La culture s'augmentera du jour où le cultivateur pourra vendre et livrer sa récolte sur pied. La préparation, le rouissage et le teillage du lin se feront beaucoup mieux, lorsque ces deux opérations s'exécuteront dans des ateliers spéciaux, en dehors des champs, où le filateur pourra réunir intelligence, économie, activité.

L'Irlande peut suffire aux besoins de l'Angleterre; l'étendue du sol de cette contrée qu'il est possible de cultiver peut s'estimer à 15 millions d'acres (1 acre = 65 ares 60 centiares); il est admis que chaque acre donne 250 kilogr. de filasse, ce qui équivaut à 380 kilogr. par hectare.

Or, la Grande-Bretagne possède un million cinq cent mille broches, qui consomment annuellement 120 à 125 kilogr. de filasse, dont elle tire les trois quarts de l'étranger. Pour trouver chez elle-même la totalité de son approvisionnement, elle n'aurait à ensemencer que 500,000 acres; l'Irlande y suffirait seule, car cette superficie ne représente que la trentième partie de sa surface totale. Le lin d'Irlande est bon; il produit toutes les variétés extra-fines que la Belgique seule est en mesure de produire.

L'Angleterre poursuivra certainement le but qu'elle se propose, la propagation de la culture du lin, car elle sent qu'un jour ou l'autre ses manufactures de coton manqueront de la matière première dont elles font une si prodigieuse consommation. (Voyez CHANVRE et LIN.)

Laine. — Peu de laines en fil ou tissus sont livrées en blanc à la consommation; si l'on excepte quelques casimirs et les flanelles, la laine n'est consommée que lorsqu'elle a reçu les diverses opérations de la teinture. Avec les développements de l'industrie des laines doit donc encore se développer l'art de la teinture. A ce titre nous trouvons intéressants les chiffres que M. Randoing a réunis à l'occasion du travail de la commission française pour l'Exposition universelle de Londres.

D'après cet honorable industriel, l'histoire de l'industrie de la laine peut se résumer en France en quatre périodes distinctes.

La première commence à la fin du seizième siècle, à la fondation de cette industrie, et la création des grands établissements dont la principale force consistait dans les nombreux priviléges qui leur étaient concédés; elle se termine en 1789.

La deuxième période comprend la durée de l'Empire et le commencement de la Restauration. La situation de la France vis-à-vis de l'Europe entière impose au chef de l'État l'obligation de faire de l'industrie l'un des leviers de son action; la fabrication des draps, secondée par les soins donnés à l'agriculture, comme encore par l'esprit d'invention qui caractérise ce siècle, suit l'impulsion des sciences positives, elle sort de

l'ornière et ne repose plus sur des priviléges ; prenant son point d'appui sur les besoins du pays, elle devient une cause de prospérité.

La troisième période commence vers 1818. Les manufacturiers adoptent sur une grande échelle l'emploi des machines, qu'ils substituent à la force matérielle de l'homme. Il en résulte dans la main-d'œuvre une diminution considérable, une baisse de prix qui développa la consommation dans une proportion à la suite de laquelle deux crises successives apprennent au producteur à régler sa marche de manière à ne plus s'exposer à de nouveaux désastres.

La quatrième époque commence en 1830. Elle embrasse une longue période pendant laquelle s'effectue le développement régulier de toutes les branches de la fabrication. Les progrès de la teinture et l'influence du goût viennent se joindre au perfectionnement des outils, et permettent d'ajouter aux produits français des qualités nouvelles.

L'histoire des progrès de l'industrie de la laine en France se lie entièrement à l'histoire de la production de la laine brute. Vers le milieu du dix-huitième siècle, la France n'occupait que le septième rang, si l'on classait les nations par ordre du mérite des laines qu'elles pouvaient produire ; elle venait après l'Espagne, la Hollande, l'Angleterre, la Saxe, le Palatinat et le Danemark. Elle tirait de l'étranger en 1780 la moitié de la laine qu'elle mettait en œuvre. Les laines d'Espagne étaient particulièrement employées dans les filatures d'Elbeuf, Louviers, Sedan, Reims, Abbeville, Amiens, Rouen. En 1782 la France en reçut pour 14 millions de francs ; en 1812 sa production s'élevait à 84 millions de francs. Depuis cette époque, il y a développement non-seulement en quantité mais encore en qualité. Le croisement de nos races avec les races espagnoles a relevé nos produits jusqu'à parvenir au troisième rang. Aujourd'hui nous possédons des laines magnifiques, et nous n'importons plus que le cinquième des laines mérinos que le filateur demande pour les transformer.

En 1851 on pouvait évaluer à 40 millions les moutons de toute nature qui vivent en France. Chaque toison pèse en moyenne, y compris celles des agneaux lavés à dos, 1k,800, soit 72 millions de kilog. de laine à raison de 3 fr. 50 c. le kilog., ce qui fait 252 millions de francs pour toutes qualités.

La moyenne de l'importation des années 1849, 1850, et 1851 est de 55 millions, soit en tout 307 millions. En admettant, ce qui est assez exact d'après une série nombreuse de prix de revient, que la valeur de la laine brute ne soit que le tiers de la valeur d'un tissu quelconque au moment où le consommateur l'achète, le nombre total des tissus de laine fabriqués en France s'élèverait à 921 millions aux époques considérées. On livrait alors à l'exportation 116 millions ; il resterait donc pour la population le chiffre de 805 millions ; ce chiffre, pour de nombreuses raisons, ne peut être considéré que comme un minimum.

En Angleterre, d'après les relevés officiels, dans la même période, la laine représentait une valeur créée égale à 925 millions, c'est-à-dire à peu près la même que chez nous.

Nous croyons devoir terminer cet aperçu par l'exposé de quelques chiffres qui représentent le développement des exportations. Mais il convient, pour pouvoir comparer les chiffres que donnent nos douanes à ceux fournis par les douanes anglaises, de réunir aux tissus de laine les exportations qui résultent du trafic des tapis et de la bonneterie.

La moyenne des exportations françaises des années 1827 à 1836 pour les tissus de laine divers, y compris les tapis et la bonneterie en général, a été de 38 millions ; les exportations des mêmes produits pendant l'année 1851 se sont élevées à 122 millions 500 mille francs. Le progrès réalisé pendant 20 ans a donc été 220 pour cent.

Les exportations de l'Angleterre ont été en 1830 de 118 millions, en 1851 de 246 millions 500 mille francs. C'est seulement 110 pour cent., c'est-à-dire que la proportion d'accroissement a été double pour la France de ce qu'elle a été pour l'Angleterre. Nous exportons même en Angleterre surtout en tissus de mérinos et tissus de nouveautés.

On suppose, d'après des chiffres officiels, que l'industrie des laines représentait, vers 1852, 146 millions, distribués en France sous forme de salaire par année de 300 jours à raison de 1 fr. 25 c. par journée de 10 heures de travail. (Voyez LAINE.)

Soie. — L'importance de la teinture dans ses rapports avec la soie donne une valeur toute spéciale aux quelques chiffres que nous présentons ici.

On évalue à 3 millions de kilog. la quantité de soie grége annuellement mise en œuvre en France. La valeur de cette matière, variable chaque année, peut être fixée, terme moyen, à 55 fr. le kilog. ; c'est donc une valeur de 160 millions qui se trouvent servir de base première aux confections de soieries et de rubans.

Sans vouloir suivre avec M. Arlès Dufour toutes les alternatives de malaise et de bien-être qu'ont subies les fabricants de soieries depuis le quinzième siècle jusqu'à nos jours (Rapport sur l'Exposition de Londres, travaux de la commission française, 1854, Paris), nous constaterons que depuis 1848 jusqu'à 1852 l'industrie des soies a été des plus florissantes. Le nombre des métiers dépassait alors 60,000. Cette situation exceptionnelle tient à ce que plus de la moitié de ses productions s'exportant, elle souffre relativement peu des crises et même des révolutions intérieures, pourvu que ses débouchés extérieurs restent ouverts.

Les 60,000 métiers qui travaillent pour Lyon sont dispersés dans l'agglomération lyonnaise, le département du Rhône et les départements voisins.

Les agitations politiques ainsi que les questions de main-d'œuvre ont fait porter loin de la ville les métiers à tisser, même les métiers mécaniques ; cela s'explique par la valeur des matières premières qu'elle emploie, et qui élève bien autrement que pour le coton, la laine et le lin le capital qu'exige l'établissement des grandes usines.

On peut assurément évaluer à 375 millions par an pendant les années 1850, 1851 et 1852 la production des articles dans lesquels la soie domine.

§ II. DES MATIÈRES TEXTILES

Étudiées au point de vue de leurs propriétés physiques et chimiques.

Maintenant que nous sommes convaincus de l'importance des industries auxquelles se rattache, par de nombreux liens, l'art de la teinture, nous devons, sans aller plus avant dans l'exposé des diverses considérations fiscales, économiques ou autres, qui pourraient s'y rattacher, indiquer d'une manière complète les notions que nous possédons sur les propriétés physiques et chimiques des matières textiles employées et désignées dans le chapitre qui précède. Cette étude, pour laquelle nous éviterons les répétitions et de trop longs détails en renvoyant le lecteur aux articles spéciaux concernant chaque matière textile en particulier, nous initiera promptement à la théorie de l'art de la teinture, à la pratique de l'une des industries les plus dignes d'intérêt. Elle nous permettra de comprendre les différences que présente la teinture en flocons, la teinture en écheveaux et la teinture en tissus. Elle nous fera saisir enfin les modifications qu'on remarque dans les procédés pratiques appliqués aux étoffes de soie, de laine ou de fil et de coton.

Nous étudierons les matières textiles dans l'ordre que nous avons suivi jusqu'à présent, en les divisant en matières d'origine végétale et matières d'origine animale.

Matières d'origine végétale.

A cette catégorie appartiennent le coton, le chanvre et le lin. Ce sont les seules matières textiles d'origine végétale dont nous nous occupions ici.

Coton ou laine d'arbre. — Le coton est, comme on sait, le produit d'un arbre ou d'un arbuste qu'on nomme *cotonnier*, de l'ordre des mauves ; il ne croît que dans les pays chauds, entre le trentième degré de latitude et la ligne ; les terres argileuses, rocheuses, sablonneuses lui conviennent ; toutes les expositions lui sont bonnes, sauf celle du vent du nord, qui pourrait en dessécher les feuilles. Les fibrilles du coton dont l'industrie fait usage ne sont autre chose que les poils qui forment le duvet de la graine du cotonnier, dont les sucs ont disparu par le développement et la dessiccation. De la finesse des fibrilles, de leur longueur, de leur élasticité, de leur force et de leur douceur dépend la qualité du coton ; celui qui réunit ces qualités au plus haut degré a le plus de valeur, d'après M. Michel Alcan, si bon juge en pareille matière.

Rappelons ici qu'il y a plusieurs espèces de cotonniers qui toutes ne se prêtent pas avec la même facilité, avec le même bonheur aux opérations de la teinture. Les uns ont la forme d'arbre, les autres n'atteignent pas au delà de la hauteur des arbustes. On distingue, dans le commerce, les cotons suivant la longueur des fibrilles ; on les nomme *cotons à longues soies* ou *cotons à courtes soies*. La longueur des premiers varie de 0m,0202 à 0m,039 ; la longueur des seconds est comprise entre 0m,014 et 0m,025 ; il y a donc dans cette dernière classe des cotons de la même longueur que les cotons longues soies ; leur qualité ne permet pas alors de les admettre dans la première classe.

En général, les cotons longues soies viennent de Géorgie, de Bourbon, d'Égypte, de Cuba, de Carthagène.

Les courtes soies viennent de la Louisiane, de Cayenne, de Madras et d'Alexandrie. L'Algérie fournit actuellement à la France des cotons de très-belle qualité. Nous renvoyons à l'article Coton, publié dans le premier volume de ce Dictionnaire, où le lecteur trouvera l'exposé de toutes les méthodes de préparation du coton et les procédés perfectionnés employés dans la filature de cette matière textile.

Chanvre. — Le chanvre est une plante annuelle, *cannabis sativa*; la tige droite, velue, dure au toucher, creuse en dedans, a généralement de 1m,13 à 2 mètres de hauteur ; elle est recouverte d'une écorce qui se sépare en filaments assez déliés. La graine est connue sous le nom de *chènevis* ; Linnée en attribue l'origine à la Perse.

Les chanvres les plus estimés sont ceux de l'Auvergne et de l'Anjou, mais ils ont beaucoup moins de souplesse que les lins ; il est d'ailleurs difficile de les teindre en couleurs claires, car on ne peut les blanchir complétement.

Lin. — Le lin est une plante annuelle à tige fine, qui s'élève moins que celle du chanvre ; elle n'atteint guère que de 0m,70 à 0m,80 ; elle est creuse et formée de filaments réunis par une substance agglutinative que le rouissage peut dissoudre, et qui contrarierait beaucoup le teinturier si par des procédés spéciaux on n'en savait débarrasser complétement les fils et les tissus. Les filaments du lin comme ceux du chanvre ne sont autre chose que des tubes vasculaires articulés et cloisonnés ouverts à leurs deux extrémités. Cette contexture de la fibre textile ne semble pas être étrangère à la coloration de la fibre par les matières tinctoriales ; ceux qui n'ont voulu voir dans les divers phénomènes de la teinture que des actions physiques s'appuyaient sur cette organisation de la matière textile. Nous verrons que pour concevoir une idée bien exacte de ces sortes de phénomènes, il faut faire la part à toutes les influences qui sont en jeu. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'on trouve dans la laine et dans la soie une organisation, sinon semblable, au moins équivalente.

Le lin et le chanvre ont d'ailleurs avant d'être mis entre les mains du teinturier à subir de nombreuses opérations qui les transforment, les purifient, les façonnent en fils et en tissus ; nous engageons le lecteur à lire attentivement les articles si bien présentés par M. Alcan sous le titre de Lin. Les traitements manufacturiers qu'on fait subir à ces deux matières textiles sont les mêmes ; il faut les connaître pour apprécier le rôle dans la teinture de plusieurs des agents dont nous ferons usage par la suite. L'article Tissage du même auteur doit encore être étudié pour nous faire saisir le rôle des substances accidentelles que le tisserand introduit pour effectuer son ouvrage et dont il est important que le teinturier fasse disparaître jusqu'aux dernières traces s'il veut produire dans les meilleures conditions de succès et de bon marché.

Propriétés chimiques des fibres d'origine végétale. — Considérées sous le rapport chimique, les fibres textiles du lin, du chanvre et du coton représentent de la cellulose pure, débarrassée de toute matière incrustante. Nous devons en faire une étude approfondie, surtout au point de vue du teinturier. Nous ne pouvons ignorer en effet comment cette fibre se comporte au contact des divers liquides dont le teinturier doit faire usage ; il nous faut aussi connaître les altérations qu'elle peut subir de la part des éléments employés pour la décolorer lorsqu'elle possède par elle-même une coloration propre qui doit disparaître surtout pour l'obtention des couleurs très-claires et pures. L'art du blanchiment comme celui de la teinture exige donc la connaissance des propriétés chimiques de la cellulose organisée.

La cellulose pure est formée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dans des proportions qui conduisent à la formule $C^{12} H^{10} O^{10} = C^{12} H^{9} O^{9} + HO$; elle contient en effet :

Carbone.	990	444
Hydrogène	125	6,17
Oxygène	1000	49,39
	2025	100,00

A l'état de pureté, c'est une substance incolore, diaphane, insoluble dans l'eau, dans l'acide acétique, dans l'alcool, dans l'éther, dans les huiles grasses et dans les huiles essentielles ; elle résiste à l'action des acides et des alcalis étendus, mais sa résistance est variable avec l'état d'agrégation sous lequel elle se présente.

La cellulose se conserve assez longtemps lorsqu'on l'expose à l'air sec ; mais sous l'influence de l'air humide, elle se désagrége d'abord, puis finit par subir une véritable décomposition.

Le chlore, le brôme, l'iode, en dissolutions étendues ne l'attaquent que faiblement ; mais s'ils agissent à l'état de dissolutions concentrées, les altérations sont profondes, surtout sous l'influence des rayons solaires. Non-seulement ils agissent comme des corps déshydrogénant tantôt en s'emparant d'une partie de l'hydrogène, tantôt en fixant de l'oxygène par suite de leur tendance à décomposer l'eau ; ils agissent encore en vertu des acides chlorhydrique, bromhydrique, iodhydrique formés, dans les deux cas, aux dépens de l'hydrogène de la cellulose ou de l'hydrogène de l'eau décomposée.

Le chlore, le brôme et l'iode attaquent encore la

cellulose en dissolution étendue, lorsque ces corps sont en contact d'une base énergique caustique hydratée, même carbonatée ; la dissolution de potasse ou de carbonate de potasse en présence du chlore, du brôme ou de l'iode désagrége la cellulose.

Les alcalis, la potasse, la soude, les oxydes solubles, la chaux, la baryte, les carbonates alcalins de potasse et de soude en contact avec la cellulose, agissent différemment sur elle, suivant qu'ils sont concentrés ou étendus, carbonatés ou caustiques, avec ou sans le contact de l'air. Les alcalis caustiques en dissolution faible, et les alcalis carbonatés même en dissolution concentrée n'exercent en général qu'une action assez peu prononcée sur la cellulose; elle est fortement contractée par les alcalis caustiques employés à l'état de liqueurs concentrées ; un tissu de coton, de lin, de chanvre se crispe, lorqu'on le touche avec un alcali concentré.

Lorsque, d'après M. Pelouze, on n'élève pas la température au delà de 160° et qu'on chauffe un mélange de cellulose et de potasse caustique, si l'on verse un acide dans la liqueur provenant du lessivage, on obtient une matière qui présente la composition et les propriétés générales de la cellulose, mais qui se dissout soit à froid, soit à chaud dans les alcalis.

Avec le concours de leur eau d'hydratation les alcalis deviennent fortement oxydants à l'égard de la cellulose; si l'on chauffe au-dessus de 160°, lorsque la cellulose est en excès, on obtient de l'ulmine, et lorsque l'alcali domine à 280° il se forme de l'oxalate de potasse; à 400° l'oxalate se détruit, il n'y a plus que du carbonate de potasse. La formation de ces sels alcalins est accompagnée d'un dégagement d'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau d'hydratation. L'oxygène s'est porté sur la cellulose.

L'action de la chaux sur la cellulose est très-remarquable ; cet oxyde n'agit en effet, même à l'état très-concentré, qu'en présence de l'air : dans le vide il n'y a pas d'altération ; dans l'oxygène, au contraire, on remarque une désagrégation très-rapide. Cette expérience prouve que la destruction du tissu résulte d'une oxydation de la matière elle-même; elle conduit à penser que dans la teinture en noir, il existe une cause d'altération semblable, et que lorsqu'on dépose sur un tissu des protoxydes de fer ou de manganèse pour les faire passer ensuite à l'état d'oxydes plus oxygénés, la fibre elle-même peut s'oxyder.

L'action des acides sur la cellulose est variable avec l'état de concentration de l'acide ; elle varie encore avec la nature de l'acide. L'acide sulfurique étendu n'exerce sur la cellulose qu'une action très-faible, lorsque le contact n'est pas prolongé. A la longue, la fibre passe à l'état de désagrégation, se gonfle et devient soluble dans l'eau ; elle passe à l'état de dextrine. L'acide sulfurique concentré opère immédiatement cette transformation, si l'on a soin d'ajouter l'acide seulement goutte à goutte, en remuant toujours.

L'acide chlorhydrique étendu forme une matière sucrée par une ébullition prolongée avec la cellulose ; il suffit de quelques centièmes d'acide pour changer en glucose le papier, le vieux linge et la sciure de bois.

L'acide chlorhydrique concentré devient, d'après M. Pelouze, un excellent dissolvant de la cellulose; il la dissout rapidement avec la plus grande facilité.

L'eau forme dans ce liquide un précipité blanc de cellulose; mais si l'on attend un ou deux jours, on n'observe plus de précipité, quand on ajoute l'eau : la cellulose a complétement disparu et la liqueur présente tous les caractères d'une dissolution de glucose.

L'acide nitrique étendu d'eau et à froid se comporte avec la cellulose comme l'acide sulfurique étendu. A chaud, il la désagrége d'abord, agit ensuite comme oxydant et la transforme en acide oxalique.

L'acide nitrique concentré et l'acide nitrique fumant agissent sur la cellulose en la dissolvant ; l'eau précipite de cette dissolution une matière blanche pulvérulente, insipide, azotée, que M. Braconnot rapprochait de la xyloïdine, composé curieux qui se forme quand on traite l'amidon dans les mêmes conditions.

Si, au lieu de traiter la cellulose (coton, chanvre, lin, papier) par l'acide azotique monohydraté, c'est-à-dire ne contenant qu'un seul équivalent d'eau, nous l'immergeons pendant quelques minutes dans cet acide, et si nous la retirons ensuite pour la laver à grande eau, nous obtiendrons une matière douée d'une grande combustibilité, tout en conservant la forme de la cellulose; on la nomme pyroxyline. Le collodion n'est autre chose que la partie de la pyroxyline qui se dissout dans un mélange d'éther et d'alcool, contenant 8 parties d'alcool pour 100 d'éther.

L'acide chromique et le bichromate de potasse, dont nous verrons qu'on fait en teinture un usage important, peuvent, à l'état de dissolution étendue, se trouver en contact avec les fibres textiles végétales, sans leur faire subir d'altération appréciable, pourvu que le contact n'ait pas lieu sous l'influence de la lumière solaire. Il faut éviter l'action du soleil, qui désagrége promptement, surtout avec une dissolution concentrée.

Les caractères qui précèdent, et sur lesquels nous avons cru devoir nous étendre longuement, fixent donc les limites dans lesquelles on peut faire agir sur les tissus de coton, de lin, de chanvre, les liquides dont on fait usage dans le blanchiment et la teinture. Nous rappellerons qu'ils semblent se confondre avec ceux qui distinguent l'amidon dont la composition chimique est d'ailleurs exactement la même. Ces deux matières ne sont cependant pas identiques, et nous devons faire ressortir ici l'une des plus importantes différences que le teinturier puisse observer.

Les fibres du coton, du lin, du chanvre, mises en contact avec certains sels de fer et d'alumine, s'emparent des oxydes de ces sels ; ils forment des composés particuliers qui sont capables alors de déterminer l'absorption des matières colorantes propres à teindre ces fibres. L'amidon n'offre aucun indice de cette propriété. On s'en sert pour épaissir les sels de fer et d'alumine qu'on veut combiner aux fibres végétales.

Ces fibres jouissent d'ailleurs d'une certaine affinité pour quelques matières colorantes, comme l'indigo, le carthame, le curcuma qu'elles attirent fortement. Dans cette circonstance, les fibres ne peuvent être décolorées qu'en faisant intervenir une action chimique énergique capable de déplacer la matière colorante.

Faut-il attribuer l'adhérence de l'oxyde ou de la matière à l'organisation spéciale des fibres différentes de celle de l'amidon? L'action qu'exerce sur la cellulose la liqueur cupro-ammoniacale peut permettre de décider la question; car elle fait disparaître l'organisation sur laquelle nous avons insisté. J'ai disposé quelques expériences qui, malheureusement, ne sont pas assez avancées pour que je puisse faire prévoir les résultats qu'il faut en déduire : elles ont pour base les observations qui suivent et qui permettent d'éliminer l'influence de la forme fibreuse.

M. Schweitzer a remarqué que l'eau-mère de l'hyposulfate double de cuivre et d'ammoniaque et le soussulfate vert de cuivre dissous dans l'ammoniaque possèdent la propriété de dissoudre plusieurs substances organiques : la cellulose, l'amidon, la soie; la cellulose est précipitée par des solutions concentrées de sels alcalins, de miel, de gomme, de dextrine. La cellulose en dissolution se sépare par l'évaporation en plaques membraneuses amorphes.

M. Péligot prépare un excellent dissolvant de la cellulose (coton, lin, chanvre,) en versant à plusieurs reprises de l'alcali volatil sur de la tournure de cuivre, dont on remplit une allonge placée verticalement; il se

produit une dissolution bleue, capable de dissoudre un poids de cellulose à peu près égal à celui du cuivre qu'elle contient. Introduit dans cette dissolution, le coton se transforme d'abord en une gelée épaisse qui disparaît bientôt par l'agitation et l'addition d'une certaine quantité d'eau. L'addition d'un acide en excès régénère la cellulose inaltérée, mais dépourvue toutefois de son organisation primitive. Il m'a paru très-intéressant d'examiner comment se comporterait cette cellulose vis-à-vis des matières tinctoriales employées dans l'industrie ; en supposant qu'on observe une différence dans le résultat comparatif, on serait fondé, les expériences étant concluantes, à maintenir la séparation qu'on admet entre la cellulose et l'amidon.

Il est vrai que si la cellulose précipitée perdait la propriété d'attirer les matières colorantes, on pourrait objecter l'altération moléculaire que la matière aurait subie. Mais il est évident aussi qu'on touche alors aux questions les plus secrètes de la nature et qu'il ne faut présenter de solution qu'avec la plus grande réserve. Jusqu'à présent, d'ailleurs, on a considéré la cellulose comme un produit unique ; d'après les expériences de M. Frémy, les savants confondraient sous ce nom des composés isomériques pouvant, sous l'influence de certains réactifs, affecter un état uniforme. M. Payen n'admet pas complétement cette théorie. D'après lui, la cellulose qui résiste, avant toute modification, à l'action du réactif cupro-ammoniacal, celle, par exemple, qui constitue *le papier de riz*, ne diffère pas beaucoup de celle qui constitue les fibres textiles, les poils de la graine du cotonnier et les cellules des divers tissus des plantes. « Toutes les fibres corticales ne sont pas homogènes ; « leurs parois sont épaissies, les unes par des couches « concentriques de cellulose presque pure, immédiatement « soluble dans l'oxyde de cuivre ammoniacal ; « les autres, par la cellulose plus ou moins injectée et « soluble, seulement après épuration.

« Les différences que présentent les propriétés de la « cellulose, primitivement homogène dans les organismes « végétaux, dépendent de sa cohésion et de la « nature des substances injectées. »

M. Payen ne regarde pas comme impossible qu'on parvienne à démontrer l'existence de divers états isomériques de la cellulose, mais il ne regarde pas cette démonstration comme acquise à la science, dans l'état actuel de nos connaissances.

Matières d'origine animale.

Nous ne comprendrons dans cette étude que la laine et la soie ; nous étudierons ces matières textiles au point de vue de leurs propriétés chimiques et de leurs qualités physiques.

Laine. On donne le nom de laine, comme on sait, à la matière filamenteuse qui recouvre la peau des moutons, régulièrement percée d'une infinité de pores qui laissent passer la sécrétion constituant la laine. On sait que cette matière flexible se prolonge à l'extérieur de la peau par des développements partant de la base et s'accumulant au sommet pour s'y dessécher. Elle remplit une fonction semblable à celle que remplissent les cheveux, les poils, les plumes ; sa constitution est analogue.

Vue au microscope, la laine prend la forme de tubes cannelés, striés, et ayant un canal médullaire, rempli d'air ou d'un liquide plus ou moins coloré. La laine est généralement contournée sur elle-même, plus ou moins frisée, ce qui la distingue des cheveux et des plumes ; il existe une grande variété de laines qui se différencient par la longueur des brins ou par leur grosseur. On les sépare sous le premier rapport en laines longues ou laines courtes ; les unes ont plus de 0m,08 à 0m,10 de longueur ; les autres sont de dimensions au-dessous. On nomme ces dernières *laines à cardes* ; les autres, *laines à peignes* ; il convient du reste de faire remarquer ici que toutes les parties d'une même toison ne fournissent pas des brins de même longueur ou de même grosseur. Les flancs représentent ordinairement les parties les plus estimées.

Les laines se divisent encore en deux grandes espèces surtout au point de vue du teinturier. Les *laines de toisons* qui proviennent de la tonte annuelle des animaux, et les *laines mortes* qui proviennent des peaux des animaux tués pour la boucherie ou morts de maladie. Les affinités de ces matières textiles pour les matières colorantes sont fort différentes.

Nous n'avons pas à nous occuper ici des divers procédés de préparation auxquels on soumet les laines pour les livrer au filateur. Ces opérations ont été décrites avec tout le soin possible par M. Michel Alcan à l'article LAINE. L'auteur y décrit toutes les opérations de la filature et la fabrication des tissus, comprenant le tissage, le dégraissage, l'épincetage, le foulage, le lainage, le tondage, le séchage à la rame, le passage à la vapeur, le décatissage et l'apprêt. Nous nous bornerons à présenter ici les propriétés chimiques de la laine, telle qu'elle se présente après la tonte.

Propriétés chimiques de la laine. — La laine à l'état naturel n'est pas un corps homogène. Les filaments textiles sont chargés d'un corps étranger sécrété par l'animal en même temps que la laine proprement dite, et dont la quantité varie avec la qualité des fibres textiles. Les qualités ordinaires en contiennent rarement au-dessous de 20 p. 100. Les belles laines en renferment généralement de 75 à 80 p. 100 ; on nomme *suint* ou *surge* cette sécrétion de nature graisseuse. Le désuintage doit toujours précéder tout travail. La laine est souvent vendue en suint par le cultivateur. Quelquefois l'éleveur lave la toison sur le dos de l'animal, la laine a subi ce qu'on nomme le *lavage à dos* ; on lave encore après la tonte, la laine subit alors le *lavage à chaud* ou *lavage marchand*.

La laine débarrassée de son suint par les laveurs se nomme *laine lavée* ; encore chargée de suint, elle se nomme *laine en suint* ou *laine surge*.

Quel que soit l'état de la laine lavée, quand on la met dans le commerce, elle contient encore de 10 à 15 p. 100 de suint ; l'expérience et l'habitude permettent d'apprécier cette connaissance sans une trop grande erreur.

La nature du suint et sa composition chimique offrent le moyen d'apprécier exactement ce qui se passe dans l'opération du désuintage.

La laine surge macérée dans l'eau froide s'y ramollit en abandonnant à ce véhicule le suint qu'elle contient ; l'eau devient trouble, laiteuse, écumeuse comme de l'eau de savon. A cette première macération succède une série de lavages à l'eau chaude, puis une macération nouvelle avec de l'urine putréfiée pour dissoudre les matières qui n'ont pas disparu sous l'influence des premiers traitements.

D'après M. Chevreul, la laine agitée rapidement dans un grand volume d'eau cède à celle-ci la matière soluble du suint, et retient presque toute la matière grasse ; celle-ci, à l'état de pureté, est insoluble dans l'eau ; cependant elle peut être enlevée sous forme d'émulsion, lorsque la partie soluble du suint est concentrée, et qu'elle reste un temps suffisant en contact avec la matière grasse. La partie du suint soluble dans l'eau froide est essentiellement formée de carbonate de potasse, de sulfate de potasse, de chlorure de potassium, de phocinate de potasse, d'un autre sel de potasse dont l'acide est volatil, mais faiblement odorant, d'une matière organique contenant de l'azote et du soufre, enfin de deux sels savonneux à base de potasse, dont les acides sont les acides stéarérique et élaïérique, acides obtenus en traitant par la potasse deux matières grasses neutres qu'on trouve adhérentes à la laine lavée et que

M. Chevreul nomme *stéarérine* et *élaïérine*. Il y a en outre un sel ammoniacal.

Cette partie soluble du suint est en mélange avec la terre appliquée mécaniquement à la toison, et qui se dépose dans la cuve de lavage, puis avec une certaine quantité de stéarérine et d'élaïérine sous forme d'émulsion, et d'une petite proportion de matière contenant du soufre et de l'azote.

La laine traitée par l'eau contient encore une matière grasse que l'alcool peut enlever par épuisement; ce liquide enlève en effet une matière qu'on doit considérer comme excrétée par l'appareil glanduleux du poil et comme faisant partie du suint. Des brins de laine mérinos lavés à l'eau froide montrent souvent au microscope la matière grasse excrétée comme la gomme et la résine laque sur de jeunes branches d'arbres.

La matière grasse de la laine est au moins formée de deux matières grasses neutres, la stéarérine et l'élaïérine. L'une se ramollit à 45 degrés et fond à 60 degrés, elle cristallise; la seconde est liquide à 15 degrés, et ne cristallise pas. Très-difficiles à saponifier, elles donnent des acides stéarérique et élaïérique mêlés d'une petite quantité d'acide *phocénique*; il est probable que ce dernier est en combinaison à l'état latent avec une matière différente de la stéarérine et de l'élaïérine.

La laine épuisée par l'alcool ne cède à l'acide chlorhydrique que très-peu de matière inorganique, lorsque toute matière étrangère minérale a disparu par le désintage. Pour avoir la laine pure, il est nécessaire de la laver encore à l'eau pour enlever tout l'acide chlorhydrique, puis de la sécher et de la traiter par l'alcool, qui dissout encore des traces de matière grasse, et enfin par l'eau pure, qui élimine tout l'alcool. En résumé, un échantillon de laine mérinos en suint a donné à M. Chevreul, après dessiccation à + 100°.

Matière terreuse	26.06
Suint soluble dans l'eau froide	32.74
Graisses particulières.	8.57
Matières terreuses fixées par la graisse	1.40
Laine proprement dite.	31.23

La laine, après ce traitement, diffère notablement de la soie par une quantité notable de soufre. Cependant cet élément ne paraît pas être immédiatement combiné dans la fibre; il semble faire partie constituante d'un composé particulier qui lui est adhérent. En effet, le soufre peut être séparé d'un tissu de laine, en faisant macérer celui-ci dans un lait de chaux, pendant trente à quarante heures, le traitant successivement par l'acide chlorhydrique et par l'eau, puis recommençant ces traitements jusqu'à ce que l'eau de chaux n'enlève plus de soufre. Comme on peut séparer ainsi la plus grande partie de cet élément de la laine, et que celle-ci, sauf des déchirements et la diminution de ténacité qu'elle a subie, après avoir été soumise jusqu'à vingt-huit fois à l'action successive de la chaux et de l'acide chlorhydrique, conserve toujours sa forme filamenteuse, on est conduit à considérer le soufre comme un élément, non de la laine, mais d'un autre composé qui lui semble associé. La laine, privée de soufre, se rapproche beaucoup plus de la soie par la manière dont elle se comporte avec les oxydes métalliques dont les oxydes sont susceptibles de se sulfurer facilement, qu'elle ne le faisait avant d'être désulforée.

On démontre facilement dans la laine la présence du soufre :

1° La carbonate de soude à 2° Baumé, maintenu pendant une heure en contact à 75° centigrades avec la laine désintée se charge de sulfure de sodium; on en constate la présence, ou par un sel de plomb, on par l'acide sulfurique qui dégage de l'hydrogène sulfuré;

2° L'ébullition de la laine avec des acides faibles, surtout après ébullition avec des alcalis, dégage une odeur sensible d'hydrogène sulfuré;

3° L'acétate de plomb liquide colore la laine en gris noirâtre à la température de l'ébullition;

4° Une dissolution d'oxyde de plomb dans la potasse se colore en noir au contact de la laine désintée; des sels d'étain en dissolution se comportent de même.

Abstraction faite du soufre et des matières salines, la laine est composée de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote dans des proportions mal connues encore. M. Ure a donné, dans son Dictionnaire, une analyse dont nous rapprochons les résultats de celle de M. Scheerer. Nous mettons en regard une analyse des cheveux, d'après M. Van Laer, et celle des poils de la barbe d'après M. Scheerer.

	Laine		Cheveux.	Poils de la barbe.
	Ure.	Scheerer.	Van Laer.	Scheerer.
Carbone. . .	53,70	50,60	49,77	51,99
Hydrogène. .	2,80	7,00	6,37	6,72
Azote. . . .	12,30	17,00	17,14	17,28
Oxygène et soufre. . .	31,20	24,60	26,72	24,00

La laine supposée pure est plus dense que l'eau; elle est très-hygrométrique; 100 parties de laine sèche absorbent 7,75 parties d'eau; insoluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther, elle résiste à l'action des acides et des alcalis très-affaiblis. Nous allons étudier ses caractères en présence des divers réactifs.

Le chlore, le brôme, l'iode désorganisent la laine; cette action est plus profonde encore en présence des alcalis.

Les dissolutions de potasse ou de soude à l'état de concentration dissolvent la laine; il se forme des acides particuliers; la baryte, la chaux, la strontiane l'altèrent également. Les *pelades*, laines mortes enlevées par la chaux de la peau des animaux abattus pour la boucherie, ont perdu le moelleux et le nerf que les laines vivantes conservent même après de nombreux lavages.

La laine est altérée par l'acide nitrique affaibli et par les nitrates acides; ils la colorent en jaune. L'acide nitrique concentré produit avec cette matière filamenteuse un abondant dégagement de vapeurs rutilantes; il se forme en même temps de l'azote et de l'acide carbonique. Le liquide évaporé fournit une quantité notable d'acide oxalique. L'acide sulfurique concentré modifie la laine; il se forme une matière analogue aux substances grasses. D'après M. Boettger, cette propriété peut être mise à profit pour l'analyse des tissus mélangés. Si l'on soumet à l'action de ce réactif un mélange de laine et de lin ou de coton, ces deux derniers sont détruits plus ou moins vite et les filaments qui résistent sont exclusivement de la laine qui brûle avec son odeur caractéristique. L'acide chlorhydrique que qui possède aussi la propriété de désorganiser les filaments de coton a été mis à profit pour séparer les fils de coton qui sont mélangés aux vieux chiffons de laine qu'on remet en œuvre. Nous insisterons plus loin sur l'action de la potasse pour analyser les étoffes mélangées.

Lorsqu'on met la laine en contact avec certaines dissolutions salines, elle peut, suivant la nature du sel, se combiner simplement avec ces dernières sans les altérer, on les décomposer partiellement et se combiner avec les produits de leur altération. MM. Thénard et Roard ont démontré les propositions suivantes :

L'alun se combine intégralement à la laine.

L'acétate d'alumine s'y combine partiellement, mais par la dessiccation à l'air, il se réduit en sous-acétate d'alumine et en acide acétique qui s'évapore.

Le bitartrate de potasse dissous dans l'eau est réduit

par le laiue en acide tartrique qui s'y unit et en tartrate de potasse qui reste en dissolution dans l'eau. Ces faits ont nne grande importance dans les opérations de la teinture. Pendant le mordançage des tissus de laine avec l'alun et le sel de tartre, le laine s'unit à la fois à l'acide tartrique et à l'alun.

Le tartrate de peroxyde d'étain dissous dans l'acide chlorhydrique prépare la laine à fixer le couleur de le cochenille comme le fait l'acétate, dont nous étudierons le composition plus loin.

Dans certaines circonstances l'altération que le laine fait subir aux dissolutions salines est beaucoup plus profonde ; elle agit comme agent réducteur puissant. C'est ainsi, par exemple, qu'elle ramène à l'état de sels de protexyde les sels de peroxyde de fer ; elle agit encore de même avec certains sels dont les acides sont beaucoup plux facilement réductibles que ne l'est le peroxyde de fer.

De même que le fibre ligneuse, la laine peut absorber certaines motières colorantes; elle se prête de la sorte aux opérations de le teinture, mais on remarque des différences notables dans l'intensité de le coloration. En faisant des essais comparatifs avec des matières colorantes jaunes, bleues et rouges, sur des laines provenant de moutons vivants, de moutons morts en état de santé, de moutons malades et de moutons morts de maladie, on a vu que les dernières n'avaient pris qu'une très-faible teinture. Les premières seules avoient présenté des résultats complétement satifaisants. M. Roard, directeur des teintures aux Gobelins de 1803 à 1815, fait remonter à cette cause les différences que présentent à l'égard de la teinture les diverses laines, quand on cherche à les teindre en bottes ou en écheveaux.

La laine doit, dans tous les cas, avant d'être mise entre les mains du teinturier, être désuintée, blanchie et filée ; rarement elle est teinte en toison. Cependant nous verrons qu'on la soumet quelquefois en flocons aux opérations de la teinture. Le désuintage est décrit à l'article BLANCHIMENT, nous n'avons pas à l'étudier; les détails daos lesquels nous sommes entrés au sujet de le composition du suint permettent de saisir le théorie de le pratique dans tous les détails du travail industriel. Il nous suffit de rappeler que le désuintage des laines ne doit pas être fait au-dessus de 60° et que les laines ne doivent pas rester dans le bain plus d'un quart d'heure. Ces observations de M. Roard sont conformes à ce qui se fait dans la pratique; le savon de Flandre est le meilleur agent de désuintement.

Soie. — Nous commencerons l'étude de cette matière première en rappelant que nous n'avons pas à nous occuper ici de l'élevage des vers à soie, présentée déjà sous le titre SOIE par M. M. Alcan avec tous les détails convenables. Nous insisterons seulement sur les caractères physiques et chimiques de le soie considérée dans ses rapports avec la teinture.

De toutes les matières filamenteuses, le soie, comme nous l'avons dit, est la plus importante; son éclat lui donne nne valeur considérable, elle est la plus brillante; sa résistance et la richesse des colorations qu'elle peut recevoir de le teinture le placent au-dessus de toutes les matières textiles.

Le fil obtenu par le dévidage du cocon se nomme *soie grége* ou *soie écrue*. La soie grége n'est pas composée d'une substance homogène; elle se présente sous forme de deux filaments accolés formés par la solidification du liquide que sécrète le chenille; le substance fibreuse qui constitue le filament est au centre de la matière solidifiée; elle est recouverte de deux substances gommeuses de compositions différentes. M. Roard a confirmé vers 1807 ce que l'on savait de le composition de le soie grége, qu'elle est formée d'une matière gommeuse soluble dans l'eau, non cristallisable, qui entre pour les 0,24 ou 0,25 de son poids; il constata le présence dans la soie d'une huile volatile odorante, de la cire et d'une matière colorante fluide à 30°, que M. Chevreul regarde comme une matière colorée et non comme un principe colorant, car il n'existe dans les soies écrues jaunes ou oranges de belle qualité qu'en quantité très-faible. M. Chevreul a constaté de plus que la matière appelée gomme est susceptible de se prendre en gelée comme le gélatine. La soie abandonne à l'acide chlorhydrique, à l'alcool, à l'eau des principes étrangers même après avoir été dépouillée de la gomme qui recouvre les fils. Le traitement par l'alcool a pour but d'enlever les acides gras du savon, et le traitement à l'eau de séparer tout l'alcool.

Il est important, avant de travailler le soie, d'enlever toutes les matières étrangères qu'elle contient. Une première couche de matière gommeuse est soluble dans l'eau chaude. La seconde ne l'est que dans une eau légèrement alcaline; la soie dépouillée de matières étrangères prend le nom de *soie décreusée* ou *cuite*; on appelle *décreusage*, *dégommage* ou *cuite de la soie* l'opération qui a pour but d'enlever ces matières étrangères.

D'après M. Mulder, 100 parties de soies écrues, jaunes ou blanches, contiendraient :

	Soie jaune.	Soie blanche
Fibre soyeuse.	53,37	54,04
Substance analogue à la gélatine	20,06	19,08
Albumine.	24,43	25,47
Graisse ordinaire.	1,30	1,11
Graisse résineuse.	0,40	0,30
Matière colorante.	0,05	0,00

M. Mulder avait successivement traité la soie par l'alcool et l'éther pour enlever à chaud la graisse et les matières colorantes, par l'acide acétique bouillant et concentré pour enlever l'albumine et la substance analogue à la gélatine, enfin par l'eau pour compléter l'action de l'acide acétique.

La matière qui résiste à ces actions peut être considérée comme la soie pure, la fibroïne, malgré 0,003 de cendres; on ne peut, en effet, sans la désorganiser, enlever le soufre, le phosphore, le chlore, le potassium, le sodium, le calcium qui constituent ces cendres.

D'après le même chimiste, la fibroïne pure contient :

Carbone	48,53	49,27
Hydrogène.	6,50	6,50
Azote	17,35	17,02
Oxygène et soufre	27,62	27,30

La fibre soyeuse, insoluble dans l'éther, l'alcool, les huiles grasses et essentielles, est soluble dans l'acide sulfurique concentré; à froid, la dissolution est visqueuse et d'un brun clair; à chaud, elle est d'un beau rouge, et enfin d'un brun foncé à mesure que par l'oxydation il se forme de l'acide sulfureux. Les acides arsénique et phosphorique dissolvent à froid la soie; l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique exigent le concours de la chaleur.

Les alcalis concentrés dissolvent la soie; mais les acides ou l'eau la précipitent de cette dissolution plus ou moins altérée.

Les carbonates et bicarbonates alcalins n'altèrent pas la soie.

Quelques sels sont fixés en nature par la soie comme par la laine; l'alun est dans ce cas.

L'action du cuprate d'ammoniaque sur la fibre soyeuse est très-remarquable; elle se confond avec celle que la même dissolution exerce sur le coton. D'après M. Schlossberger, l'oxyde ammoniacal de nickel dissout également la soie; mais il ne dissout ni l'amidon, ni le coton. La solution de soie n'est précipitée ni par les sels étrangers, ni par le sucre ou la gomme; les acides faibles précipitent la dissolution en flocons

incolores ayant l'aspect de l'hydrate d'alumine. Le liquide qui surnage est verdâtre.

La dissolution des matières textiles dans les sels ammoniacaux capables de les dissoudre ne s'effectue pas en présence du carbonate d'ammoniaque. Cette réaction n'est donc tranchée qu'autant que le réactif est nouvellement préparé. C'est que la dissolution des oxydes de cuivre et de nickel dans le carbonate d'ammoniaque sont inertes vis-à-vis de la cellulose et de la soie.

On rencontre dans la soie la propriété de soutirer certaines matières colorantes et certains oxydes aux dissolutions salines qui les renferment; les oxydes fixés sur la fibre soyeuse servent d'intermédiaire pour faire adhérer celles des matières colorantes qui ne se fixeraient pas directement.

Les soies sont conduites à l'atelier pour être teintes après le conditionnement pour éviter le piquage d'once. Nous renvoyons pour la pratique du décreusage à ce que contient l'article Blanchiment de la soie (voyez Blanchiment). Nous nous bornons à rappeler l'observation de M. Roard, à laquelle l'industrie n'a peut-être pas attaché l'importance qu'elle mérite. M. Chevreul pense que le point le plus intéressant du Mémoire de Roard, lu devant l'Académie des sciences le 12 avril 1807, est la démonstration de la possibilité de décreuser la soie plus rapidement et plus économiquement qu'on ne le fait ordinairement, lorsqu'on sépare l'opération en trois actes : le dégommage, la cuite et le blanchiment; ces trois opérations exigent de cinq à six heures, tandis que le procédé de Roard n'exige qu'une heure de bouillon. Voici la méthode :

Pour une partie de soie, on emploie 15 parties d'eau, de 50 à 60 parties de savon pour 100 parties de soie jaune, de 8 à 16 parties de savon pour 100 parties de soie écrue blanche. Lorsque le savon est dissous dans l'eau, une demi-heure avant le bouillon on y plonge la soie pour la maintenir une heure au bouillon.

« Il est incontestable, » ajoute M. Chevreul, « qu'en opérant avec soin ce procédé réussit. » *Travaux de la Commission française*, t. V; *tapisseries*, p. 45.

§ III. SPÉCIFICATION DES TISSUS

destinés à la teinture.

Les détails que nous venons d'exposer sur les propriétés des fibres textiles considérées au point de vue physique et chimique seraient bien incomplets, si nous ne faisions pas connaître, au moins d'une manière sommaire, sous quelles formes le teinturier peut rencontrer ces matières. La classification la plus convenable est celle qui regarde les divers tissus que le consommateur réclame; ils se présentent avec des degrés de délicatesse excessivement variés. On verra que dans le blanchiment, comme dans la teinture et l'impression, on réunit aux procédés chimiques l'emploi de forces mécaniques; or, l'énergie des divers agents qu'on emploie doit être choisie d'après la nature de la fibre, et surtout aussi, quand il s'agit d'efforts matériels, d'après la nature de l'étoffe, c'est-à-dire d'après son degré de finesse et de résistance. Nous commencerons donc par faire connaître sous leurs désignations les plus répandues celles des étoffes que nous pouvons être appelés à mentionner dans les opérations qui vont suivre :

1° Avec la fibre textile du coton, on confectionne, *comme étoffes unies*, le calicot, la percale, le crépisé, les jaconas, la mousseline, le velours de coton, le barége, l'organdi; *comme étoffes ouvragées*, la mousseline à jour, les organdis rayés, les balsorines, le crêpe de Chine, le crêpe façonné, le barége ouvragé, la percale brochée, les piqués grecs ;

2° Avec la fibre textile du lin : les toiles de lin, les toiles fines et les batistes ;

3° Avec la fibre textile de la laine : le casimir, la mousseline-laine, le mérinos, le cachemire d'Écosse, la flanelle, le drap;

4° Avec les fibres textiles de la soie : les foulards, les crêpes et les taffetas.

Il est convenable de citer ici les tissus mélangés de laine et de coton, de laine et de soie, de coton et de soie qui sont dans les arts vestiaires, pour hommes et pour femmes, l'objet d'une consommation particulière et considérable. On désigne sous le nom de mi-laine, ou vulgairement *chaîne-coton*, ceux qui contiennent à la fois de la laine et du coton ; la laine forme ordinairement la trame. On trouve dans ces classes des variétés d'étoffes si nombreuses, et les noms que le commerce leur donne sont si arbitraires (presque toujours bizarres, souvent empruntés aux hommes, aux choses ou aux événements nouveaux), qu'il faut renoncer à les conserver; elles ne sont d'ailleurs que passagères.

Il est difficile de définir par des caractères spéciaux et descriptifs ces divers tissus, mais il est bon de se familiariser avec ceux qui diffèrent entre eux par leur grossièreté plus ou moins primitive. Pour ceux-là, les moyens mécaniques les plus brutaux peuvent, en quelque sorte, être appliqués; pour les autres, les appareils de battage doivent être moins violents et d'autant moins offensifs que l'étoffe à laver présente un plus grand état de finesse, et partant une plus grande valeur.

Essais des tissus. Si la nature physique de l'étoffe dirige le teinturier dans le choix des agents auxiliaires mécaniques dont il doit faire usage, ce n'est pas non plus sans étude préalable qu'il applique les agents chimiques. Nous avons appelé l'attention sur les réactions différentes qui se passent au contact des diverses matières textiles et d'un même agent chimique. De plus, la nature intime même d'un seul tissu peut présenter des irrégularités, en présence de la teinture et la même fibre ne se conduit pas toujours d'une manière identique lorsqu'elle provient de localités différentes. L'expérience a fait voir, comme M. Persoz la rappelle dans son *Traité de l'impression sur étoffes*, 2e volume, p. 4, que le coton de Fernambouc se teint mieux en rouge turc que le coton de Géorgie, et que le coton de Macédoine est inférieur aux deux autres dans tous les genres de teinture, parce qu'il ne prend jamais que des teintes maigres et ternes.

Les toiles de coton colorées par la teinture d'un mordant imprimé, par conséquent épaissi, présentent parfois des filaments qui n'ont pas retenu la couleur dont l'ensemble était recouvert; ces filaments, qu'aucun caractère physique ne signalait, constituent au milieu des masses colorées des points blancs auxquels on assigne pour cause et pour origine la présence de *coton mort*. En attendant qu'on puisse faire disparaître ce défaut, il faut le mettre à nu, qu'il provienne de tubes obstrués, de torsions trop énergiques, de nœuds d'articulations, d'une cellulose parasite, de bruns avortés, etc.

Pour la laine, même observation, même impossibilité de teindre en nuances unies des mélanges de laines mortes et de laines vivantes; les brins de laine vivante fixent une forte proportion de matières colorantes; les brins de laine morte, au contraire, ne prennent qu'une coloration faible et sans éclat.

La nature du tissu n'est pas moins importante à connaître, lorsqu'il s'agit d'étoffes mélangées ; les couleurs, par exemple, que reçoivent les mi-laines sont nécessairement en relation avec les proportions respectives des fibres de coton et de laine que le tissu contient; et comme d'ailleurs une couleur donnée ne se fixe pas de la même manière sur la laine et sur le coton, on est souvent forcé de faire, pour amener une égale intensité de coloration sur les deux matières, un

mélange dont les éléments conviennent aux différentes fibres et soient en rapport avec la quantité de celles-ci. Il est inutile de dire que le teinturier doit, pour composer sa couleur et la rendre adhérente au tissu, connaître la composition, la nature de la fibre qui la forme.

Les considérations qui précèdent prouvent que le premier soin du manufacturier est de reconnaître la nature de la fibre qu'il doit teindre, et cette recommandation ne perd en rien de son poids lorsqu'il s'agit de fils au lieu d'étoffes ; l'intérêt est le même.

Or, il est toujours facile de distinguer si la matière textile est d'origine végétale ou d'origine animale ; il suffit de traiter à chaud la matière en essai par une dissolution concentrée de potasse caustique ; la laine et la soie se dissolvent ; le lin, le coton et le chanvre restent sans se dissoudre.

L'action de l'acide sulfurique concentré dans des conditions déterminées permet de reconnaître la nature de la fibre, et nous rappelons encore que l'action des dissolvants ammoniacaux de cuivre, de nickel peuvent permettre de distinguer la soie du coton ou du lin.

Quant à la valeur de la fibre à l'égard de son affinité pour telle couleur donnée, le mieux est d'essayer en petit une teinture dans la nuance voulue pour ne pas s'exposer à perdre dans des travaux exécutés sur une grande échelle des capitaux et du temps.

Dans un grand nombre de circonstances, comme nous venons de le dire, il est indispensable de connaître le rapport des fibres végétales aux fibres de nature animale ; car c'est sur ces rapports que sont établies les compositions des bains de teinture ; c'est encore sur eux qu'on détermine le genre de teinture possible sur une étoffe en tissu mélangé.

Analyse des tissus mélangés. — Plusieurs méthodes sont possibles pour faire apprécier les poids respectifs de laine et de coton, par exemple, contenus dans une étoffe donnée. Quelquefois, lorsque la différence entre l'aspect des fibres des deux espèces est considérable, on pèse séparément, après avoir séché à 100° l'étoffe prise pour l'analyse, les fibres de laine et celles de coton qu'on a séparées par un défilochage complet. D'autres fois, lorsque les fils de chaîne et de trame sont tous deux mélangés et que le départ des filaments d'une sorte ne détruit pas la contexture du tissu, on prend un centimètre carré de l'étoffe, par exemple, et faisant disparaître, en les tirant, les fibres d'une espèce de chaîne et de trame, on compte les fibres qui restent. On peut s'aider pour cette analyse de l'action chimique de la potasse en dissolution concentrée. Lorsque l'étoffe en expérience a été pesée après la dessiccation à 100°, l'ébullition fait disparaître tout ce qui est laine et tout ce qui est soie. Le résidu se compose des filaments de fil ou de coton, filaments isolés et mêlés, si toute la chaîne ou toute la trame était soluble ; filaments entrelacés sous forme de tissu plus lâche, si la chaîne et la trame étaient elles-mêmes mélangées.

On a tiré parti pour faire cette analyse de la manière dont ces tissus mélangés se comportent avec certaines couleurs. Pour ne citer qu'un exemple, le carmin d'indigo qui prend directement sur la laine ne teint pas le coton, à moins que ce dernier n'ait été préparé par des méthodes convenables ; mis en contact avec une étoffe laine et coton, il ne lui communiquera donc qu'une coloration dont l'intensité sera proportionnelle à la quantité de laine contenue dans le tissu. On trouve cette méthode très-expéditive, beaucoup plus commode même, que le moyen direct qui consiste à compter le nombre de fils que présente un tissu sur un centimètre carré et de le traiter par la potasse hydratée pour déterminer le nombre de fils qui disparaissent par le traitement chimique. Ce procédé présente, en effet, outre l'avantage de donner le rapport des fils de laine aux fils de coton dans un tissu mélangé, celui de fournir une indication précieuse sur la valeur de la fibre animale ou végétale en regard des opérations du blanchiment, de la teinture ou de l'impression.

C'est en se préparant des *normes* avec des matières colorantes déterminées, et des tissus composés dans des proportions connues qu'on peut se faire une idée bien précise des éléments sur lesquels la fabrication doit rouler.

Eau hygrométrique absorbée par les étoffes. — Plusieurs motifs ont conduit à déterminer la quantité d'eau que les diverses matières à l'état de tissu peuvent conserver même après dessiccation et reprendre dans un air saturé d'humidité. M. Chevreul s'est occupé de cette question ; elle a de telles conséquences pour la sécurité des transactions commerciales, que les chambres de commerce ont établi dans la plupart des villes de France des *conditions* pour déterminer la quantité réelle de soie et de laine que contiennent les soies écrues et les laines filées. Les expériences de M. Chevreul ont porté sur les matières textiles fournies par la cellulose, la laine et la soie, sous les différents états de coton en poils, de filasse de lin et de chanvre, de soie écrue et de soie décreusée, de laine en suint et de laine lavée, enfin sur ces mêmes éléments à l'état de fils et de tissus.

Une étoffe complétement séchée à 100, 110 et 120 degrés contient une proportion d'eau égale à celle qui se trouve dans un échantillon de la même étoffe placée dans la même atmosphère que la première, sans avoir été préalablement desséchée. M. Chevreul a déterminé la proportion d'eau que ces étoffes absolument sèches absorbent quand on les expose dans des atmosphères marquant 65, 75, 80 et 100 degrés de l'hygromètre de de Saussure.

Les étoffes étaient dans un tube de verre plongé dans un bain d'huile à 120° pendant trois heures ; un courant d'air séché sur du chlorure de calcium traversait lentement le tube dans toute sa longueur. La perte n'a pas été plus grande dans le vide sec. Une température de 100° aidée du courant d'air sec suffit pour dessécher complétement. Il est résulté de ces expériences que 100 parties d'étoffes préalablement bien séchées absorbent à la température de 20°, et dans une atmosphère marquant 100° à l'hygromètre de de Saussure, des quantités d'eau variables entre :

Pour les étoffes de coton. . . .	23,30 et 30,87
Pour les étoffes de chanvre. . .	24,34 » 35,40
Pour les étoffes de lin	26,65 » 32,87
Pour les étoffes de laine	28,04 » 36,70
Pour les étoffes de soie.	28,94 » 33,20

On voit d'après ces nombres que les étoffes, quelle que soit leur nature, absorbent à peu près la même quantité d'eau, et qu'en moyenne elle peut être le quart du poids de l'étoffe.

Eau d'imbibition fixée par les étoffes. — S'il n'y a que peu de différence dans le poids de la vapeur d'eau fixée par les divers tissus sous forme d'eau hygrométrique, il n'en est plus de même de l'eau d'imbibition que ces étoffes retiennent après avoir été tordues et comprimées. Il est convenable de connaître les chiffres que représentent ces quantités pour les différents tissus ; car deux considérations importantes pour l'ingénieur le forcent à en tenir compte :

1° L'altération que le passage de l'étoffe dans les bains fait subir à ces bains en enlevant du liquide et les éléments qu'il tient en dissolution ; on ne saurait, sans altérer la force de ces bains, maintenir constant le niveau par l'addition de nouvelle quantité d'eau.

2° L'effort calorifique qu'il convient d'appliquer à l'étoffe pour dégager cette eau, lorsque tout travail étant fini, le tissu doit être séché.

L'expérience a démontré qu'en moyenne après immersion et expression :

400	parties de calicot retiennent. . .	125 p. d'eau.
400	— d'étoffes de laine	200 p. —
400	— d'étoffes de soie. . . .	92 p. —

Ces quantités n'ont évidemment rien d'absolu; elles varient nécessairement avec la finesse du tissu pour une même nature de fibres textiles, et de plus, toutes choses égales d'ailleurs, avec l'énergie des moyens mécaniques employés pour exprimer l'étoffe. Le fabricant doit, pour évaluer les conditions de travail que nous avons énoncées tout à l'heure, établir quelques essais qui lui fourniront des données plus précises en opérant sur ceux des tissus qui font ordinairement la base de ses opérations ou réglant la torsion de façon à la rendre à peu près constante. Cette épreuve doit être faite tout aussi bien sur les fils en écheveau que sur les fibres tissées et façonnées en étoffes.

Marques des matières textiles à teindre. — Nous l'avons déjà dit, les matières textiles à teindre, en fils ou en tissus, sont soumises avec ordre et méthodiquement à des séries d'opérations mécaniques et chimiques fixées d'avance conformément aux lois de la science, conformément encore aux règles de la pratique. Il faut pouvoir suivre sans erreur toute matière en fabrication, afin de surveiller le travail. En général, ces opérations sont nombreuses pour les pièces *écrues*, c'est-à-dire pour celles qui n'ont encore reçu que l'opération du tissage; qu'elles aient été tissées à la main ou mécaniquement, il faut les blanchir avant de les teindre en uni, comme encore avant de leur appliquer des couleurs variées par les méthodes de l'impression. Pour comprendre la plus grande généralité des cas, nous supposerons qu'on ait à teindre des pièces écrues; il y a donc nécessité de les marquer : d'ailleurs, le blanchisseur et le teinturier doivent les rendre à ceux qui les leur fournissent.

Ces marques doivent être faites avec des matières qui résistent aux traitements par lesquels passe l'objet à teindre, quelle que soit la période de la fabrication. On se sert ordinairement d'encre d'imprimerie, ou d'une encre formée d'huile de lin siccative, dans laquelle on délaye de la sanguine ou du noir de fumée. Si l'on veut teindre ou blanchir des écheveaux, on ajoute la marque ou lien, de manière à ce qu'il ne se sépare pas, ou bien, c'est le lien lui-même qui reçoit la marque. Lorsqu'on opère sur des étoffes, on appose les marques aux extrémités de la pièce qu'on nomme *chefs*. Il est alors facile de les reconnaître durant toutes les phases de la teinture.

Préparation de la matière textile. Lorsque la pièce à teindre est marquée, les opérations de la teinture peuvent commencer si la nuance est foncée et que la matière soit suffisamment dégraissée; il faut la décolorer après le dégraissage, si l'on veut obtenir des nuances fraîches et délicates. Ces opérations doivent être précédées elles-mêmes, lorsqu'il s'agit d'étoffes, du rasage ou de l'épluchage du tissu. Il est très-rarement praticable lorsqu'on opère sur des fils.

Le rasage a pour but de faire disparaître les duvets et brins de fils qui rendent le blanchiment inégal, ou qui s'opposent à la régularité des teintes unies dans la teinture ou qui détruisent la perfection de l'impression en se rabattant sous le rouleau pour se relever ensuite, en laissant des parties pour lesquelles elles ont formé réserve; d'ailleurs, le duvet qui recouvre les étoffes rend les couleurs dont on les charge ternes et sans éclat.

Cet épluchage s'exécute soit par des procédés mécaniques, soit par des procédés chimiques. Le premier se nomme *tondage*, le second *grillage* ou *flambage*. Dans l'un on procède par *ablation*, dans l'autre on procède par *combustion*.

Le tondage peut se faire à la main; autrefois des femmes nommées *tondeuses* étaient chargées d'enlever, au moyen de ciseaux courbes, toutes les inégalités que présentent sur les tissus les fils quelque bien filés qu'ils aient été; ce moyen était long, dispendieux, incomplet, car il pouvait y avoir des oublis ou des accidents. On se sert aujourd'hui de machines pour remplacer le travail manuel; grâce aux perfectionnements dont les *tondeurs mécaniques* ont été l'objet, on fait usage de ces outils, qui n'étaient primitivement employés qu'au tondage des étoffes de laine (voyez Laines), pour l'épluchage des calicots, madapolams. Nous ne répéterons pas ici la description de toutes ces machines. Nous dirons seulement que quelques étoffes ne sont rasées que d'un côté; d'autres le sont sur les deux faces; quelques unes sont tondues en une seule fois; d'autres enfin le sont à plusieurs reprises, par des passages successifs; on obtient ainsi, sans entamer l'étoffe, un rasage qui ne laisse ni fils ni duvet.

On peut enlever le duvet des tissus et des fils au moyen de la combustion par grillage et flambage; on a pu lire à l'article Grillage la description des appareils dont on se sert pour griller et pour flamber les tissus. Dans le grillage on fait passer l'étoffe à griller sur une plaque métallique portée au rouge; dans le flambage on l'expose à l'action d'une flamme en combustion; tantôt c'est la flamme d'une lampe à l'alcool; d'autres fois, c'est la flamme produite par la combustion du gaz d'éclairage. Cette opération s'effectue sans inconvénient pour l'étoffe, parce que les fibres d'origine végétale et d'origine animale ne conduisent la chaleur que très-imparfaitement, et parce que leur destruction ne s'effectue qu'à des températures assez élevées. Nous renvoyons à l'article précité le détail des appareils employés au grillage des tissus et au flambage à l'alcool ou au gaz des étoffes destinées à la teinture.

D'après certains fabricants, il est préférable de ne griller ou flamber les étoffes qu'après les opérations du blanchiment; ils donnent pour raison que les opérations mécaniques auxquelles sont soumises les étoffes pendant le dégraissage déterminent toujours l'apparition d'un nouveau duvet : quelques-uns pensent que le grillage en cuisant les graisses que l'étoffe contient rend le blanchiment plus difficile et la teinture moins régulière; des expériences directes ont démontré d'une manière très-claire à M. Persoz que les huiles employées pour le rouge turc, par exemple, se décolorent au contraire plus rapidement après qu'avant le flambage. Toutefois, il faut admettre que le grillage peut être nuisible lorsque, par exemple, les tissus ont été tachés par des sels de fer ou d'alumine; par la calcination, ces oxydes perdent leur solubilité dans les acides faibles; ils restent adhérents à l'étoffe; toutefois, l'alumine a moins d'inconvénients que le fer, qui, dans certains cas, réductible sous l'influence de la fibre, peut lui faire contracter avec certaines matières colorantes une adhérence complète, cause de taches accidentelles.

Les fabricants les plus soigneux commencent par griller les tissus avant de blanchir; quand le blanchiment est terminé, on donne un rasage au moyen de la tondeuse, et même souvent encore, après ce travail, on fait passer au flambage pour enlever jusqu'aux moindres traces de duvet.

§ IV. Blanchiment

des tissus de lin, de coton, de laine et de soie.

Il ne suffit pas, pour que les étoffes soient propres à la teinture qu'elles aient perdu les aspérités qui ternissaient leur surface; il faut qu'elles aient une nuance voulue pour les tons intermédiaires; il faut qu'elles soient complétement décolorées lorsqu'on veut les teindre en couleurs claires et brillantes. Dans tous les cas, pour les tissus, qu'ils soient en teinte unie ou chargés

de dessins imprimés et teints, il faut que la fibre soit complétement dépouillée de toutes les matières étrangères, naturelles ou non, qui s'opposeraient par leur présence à l'adhérence uniforme et brillante des matières colorantes au tissu lui-même ; dans le cas de teinture sur fond blanc, il faut aussi que ce fond soit facilement ramené dans son état primitif de blancheur parfaite. On n'obtient ces résultats d'une manière complète qu'autant qu'on connaît les circonstances particulières dans lesquelles les fibres textiles conservent leurs qualités premières, finesse, éclat, souplesse, élasticité, résistance ; il faut rejeter l'emploi de tous les agents qui feraient disparaître ces qualités et ne faire usage que de ceux qui pourront enlever les matières étrangères soit indirectement en les détruisant ou les modifiant, soit directement en les dissolvant.

En comparant les propriétés des matières gommeuses, grasses, résineuses, en rapprochant les caractères chimiques des fibres textiles d'origine végétale et d'origine animale, on ne tarde pas à s'apercevoir que la laine et la soie, solubles dans les alcalis, ne peuvent être soumises aux mêmes traitements que le coton, le lin et le chanvre. Nous trouvons encore, à l'endroit de l'action du chlore sur ces matières, que l'emploi des agents décolorants convenables pour les fibres d'origine végétale ne convient pas au blanchiment des étoffes de laine et de soie. Nous devrons donc distinguer deux méthodes générales de blanchiment en ayant égard à la nature de la matière textile.

Blanchiment des étoffes d'origine végétale.

Lorsque Berthollet découvrit les propriétés décolorantes du chlore et qu'il en fit l'application au blanchiment des étoffes, on crut que le dernier mot était dit sur cette importante question ; mais de nouvelles expériences ont profondément modifié la première théorie, en ajoutant aux procédés anciens économie et sécurité. Toutes les opérations du blanchiment reposent aujourd'hui sur des principes certains, qui forment un corps de doctrine. Nous les exposerons ici, parce qu'ils sont intimement liés avec la théorie de la teinture et qu'ils servent à définir rigoureusement la théorie de l'avivage dans les opérations du garançage.

Pour les bien saisir, nous devons définir, au point de vue chimique, le fil ou le tissu formé par la fibre d'origine végétale.

La fibre ligneuse des tissus de coton, de lin, de chanvre est loin d'être pure ; elle renferme :

1° Une matière colorante, colorable ou colorée, plus ou moins préservée de l'action des agents décolorants par les matières étrangères auxquelles elle est associée ;

2° Une matière résineuse naturelle à la fibre, insoluble dans l'eau, difficilement soluble dans les alcalis et qui protége la matière colorante contre l'action des agents chimiques qui doivent la dissoudre ou la détruire ;

3° Des matières grasses inhérentes à la fibre ou provenant de l'action du filage et du tissage ; elles sont surtout déposées à la surface des fils ; ces corps gras peuvent provenir ou des métiers à filer, ou des métiers à tisser ; ce sont encore des savons dont on fait usage pour diminuer le frottement pendant le tissage ;

4° Une substance neutre, fécule, farine ou colle forte suivant que, pendant l'encollage de la chaîne on s'est servi de l'une ou l'autre de ces substances ; on rejette aujourd'hui presque partout l'emploi de la farine, qui donne, par la fermentation putride du gluten qu'elle contient, du carbonate d'ammoniaque dont la présence transforme la graisse en substances nouvelles, capables de faire adhérer les matières colorantes, et très-difficiles à faire disparaître dans les opérations subséquentes du blanchiment. On y trouve encore quelquefois, surtout à présent, de la glycérine qui permet aux ouvriers de fabriquer des tissus légers, mousselines et autres même dans les lieux secs.

5° Des matières salines inorganiques, les unes inhérentes à la fibre, les autres provenant de l'eau dont on a fait usage, d'autres enfin empruntées aux principes dont on s'est servi pour la préparation du parement de la chaîne.

S'il était permis de faire abstraction de toutes les matières étrangères que nous venons d'indiquer, comme grasses, résineuses, neutres et salines, on pourrait définir une étoffe quelconque comme formée par la fibre textile et la matière colorante. Le problème du blanchiment serait excessivement simple et parfaitement défini ; il suffirait, en effet, d'enlever directement, ou de modifier d'abord, pour l'enlever ensuite, le principe coloront qui donne à la fibre sa couleur propre ; on mettrait de la sorte en liberté la matière textile pure avec les propriétés que le consommateur réclame. Nous n'aurions qu'à rechercher les moyens les plus propres à produire la *décoloration de la fibre*. Mais les matières étrangères grasses et résineuses ajoutent aux difficultés, car elles s'opposent à la décoloration en préservant la fibre ; il est donc indispensable de commencer le blanchiment par le *dégraissage* de l'étoffe.

Nous distinguerons donc dans le blanchiment deux sortes d'opérations bien distinctes, le dégraissage et la décoloration, et, comme les fibres sont colorées sous une certaine épaisseur, comme la matière grasse et résineuse est associée de la manière la plus intime à la matière colorante, un premier dégraissage, n'agissant que sur l'épiderme de la fibre, ne permet aux premières méthodes de décoloration d'enlever que la couche correspondante de matière colorée. On est forcé de répéter un certain nombre de fois les opérations successives de dégraissage et de décoloration pour obtenir un blanc parfait. On devrait sans doute y parvenir en augmentant l'énergie des agents chimiques employés ; mais ce serait assurément au détriment de l'étoffe qui pourrait perdre de ses qualités physiques. Il est beaucoup plus prudent d'opérer par élimination successive de matières grasses, résineuses, féculentes et colorées.

Dégraissage des tissus. Nous aurons à considérer dans le dégraissage deux séries d'opérations distinctes, les unes chimiques, les autres mécaniques, complétant nécessairement les premières.

Quelles sont les opérations chimiques ? Quel est leur but ? Quelles sont les opérations mécaniques ? Que doivent-elles produire ?

A. Dans les opérations chimiques, les tissus ou les fils écrus sont soumis à l'action :

1° D'une ou deux lessives à la chaux dans le but de transformer en savons calcaires les corps gras ou résineux adhérents à la fibre ;

2° D'un bain acidulé soit par l'acide sulfurique, soit par l'acide chlorhydrique, dans le but de décomposer les savons calcaires formés pendant la première opération et de mettre les corps gras en liberté.

3° D'un ou de plusieurs lavages au carbonate de soude pour opérer la dissolution des acides gras mis en liberté dans l'opération précédente.

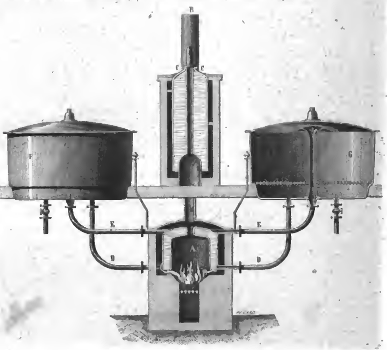
Le rôle des savons calcaires dans le blanchiment paraît avoir été signalé pour la première fois par M. Prince et Dana ; la chaux est plus avantageuse que les alcalis caustiques ; elle oxyde la matière colorante et la rend ainsi plus propre à la décoloration proprement dite ; elle saponifie les résines mieux et plus facilement que la potasse et que la soude ; enfin elle exerce sur la résistance des tissus une action beaucoup moins désorganisatrice, si l'on a le soin de n'opérer qu'à l'abri du contact de l'air ; enfin, les alcalis ne contractent les fibres d'une manière suffisante pour s'opposer à la for-

mation du duvet que si leur état de concentration est capable d'attaquer la fibre elle-même: on n'a pas à craindre cet effet désastreux avec la chaux, lorsqu'on a déterminé le degré de concentration le plus convenable et la température la plus propice pour une action prompte et sans dangers.

Nous n'avons pas à décrire ici les appareils dans lesquels se font les passages des tissus à la chaux, aux acides et au carbonate de soude. Les premiers et les derniers sont désignés sous le nom d'*appareils à lessiver*; ils ont été décrits à l'article BLANCHIMENT avec des détails qui nous dispensent d'y revenir : on les distingue en appareils à circulation intermittente et continue, à chauffage direct, à feu nu ou à la vapeur. Néanmoins, l'emploi de ces mêmes appareils appliqués au blanchissage a reçu dans ces dernières années des perfectionnements et une extension sur lesquels nous croyons devoir insister. Depuis 1854 les appareils et les cuviers de l'hospice de la Salpêtrière se trouvaient dans un tel état de détérioration qu'il devint nécessaire de les reconstruire. Le système Bouillon, Muller et compagnie fut adopté; nous extrayons les chiffres qui suivent d'un rapport fait au directeur de l'assistance publique de Paris sur la Buanderie générale, au sujet de ses productions pendant l'année 1854. Les cuviers qui peuvent contenir 800 kilos de linge sec peuvent être essangés, lessivés, lavés, séchés et pliés dans la même journée, de manière à pouvoir être remis en service dès le lendemain matin; le lessivage qui s'effectue dans les cuviers d'une contenance de 800 kilos dure quatre heures; on a donc dans ce même espace de temps dans 6 cuviers 4,800 de linge lessivé prêt à être lavé. Les flammes et les chaleurs perdues circulent autour de réservoirs en tôle qui donnent sans augmentation de dépense et par jour 44,000 litres d'eau à 50 ou 60°, température nécessaire pour faire de bons savonnages.

Le relevé du linge blanchi pendant 1854 porte en moyenne 8,782 pièces par jour, pesant 5,462 kil.; les 1,993,907 kil. de linge blanchis pendant l'année ont coûté ensemble, tous frais généraux compris, 130,625 francs; ce blanchissage confié à l'industrie privée aurait coûté 321,541 francs : c'est donc une économie de 190,916 francs.

A cette économie il faut ajouter celle qui résulte du ménagement du linge et qui ne peut se traduire directement par des chiffres. Les appareils fonctionnent avec une telle régularité que les lessives ne dépassent jamais 1 degré 5 ou 2 degrés de l'aréomètre de Baumé. Ceci posé, faisons connaître les procédés rationnels employés par MM. Bouillon, Muller et compagnie, dans les installations qu'ils ont eu l'occasion de faire pour l'industrie privée.



3749.

Le lessivage sur une grande échelle se fait au moyen d'appareils fixes; il y a tout avantage à les employer lorsqu'on opère sur 300 kilos à la fois; on donne alors au cuvier environ 1m,40 de diamètre; on le fait en bois; son couvercle a 1m,50; le fond est en fonte pour les cuviers d'une contenance de 500 kilos; leur dia-

mètre est plus grand, la construction la même, le couvercle a 2^m,00 ; enfin les grands cuviers de 900 kilog. ont 2^m,40, ils sont entièrement en fonte; généralement on les accouple deux à deux sur la même chaudière à circulation comme l'indique la figure 3719.

Une chaudière concentrique A, à circulation, est placée dans un fourneau en briques, bâti dans une fosse ou sous-sol d'au moins 1^m,50 de profondeur. Les carneaux conduisent la fumée dans un tuyau central B, qui donne sa chaleur à des réservoirs à eau chaude C; la circulation s'établit par les conduits D et E, qui correspondent aux cuviers F et G.

Lorsqu'on ne doit opérer que sur des masses inférieures à 300 kilog. on peut faire usage de lessiveuses économiques, mobiles; ces appareils agissent par l'emploi simultané des affusions et de la vapeur; elles produisent une notable économie sur la dépense ordinaire et sur l'usure du linge; elles opèrent en 3 ou 4 heures, suivant leurs dimensions; le linge acquiert une blancheur convenable, et le chauffage se fait au bois, au



3720.

charbon de terre ou au coke. On peut indistinctement employer les sels, les cristaux de soude ou la cendre. Elles sont montées sur des fourneaux portatifs, et les applications qui sont faites chaque jour prouvent la généralité de leur emploi. Les unes comportent une pompe d'un système très-simple; dans les autres, la pompe est remplacée par un robinet de vidange d'où s'écoule la lessive qu'on verse sur le linge, au moyen d'un seau spécial, par un entonnoir ménagé dans le couvercle; les unes sont en tôle galvanisée, avec foyer en fonte et pompe; les autres sont en fonte et bois; leurs formes sont représentées dans les figures 3720 et 3721.

Un appareil, de la forme de celui représenté fig. 3720, de 1^m,40 de hauteur, et de 1^m,03 de diamètre, à la place des couvercles, peut contenir 125 kilog. de linge; il coûte 300 francs en tôle galvanisée.

A est le cuvier, B la chaudière, C le foyer, D la pompe, E un robinet de vidange, F le couvercle, *b* une tige pour guider le piston, *p* un tuyau par lequel s'écoule la lessive. L'épanchement du liquide se fait sur la surface du linge par l'intérieur où le tuyau se recourbe et se termine par une pomme d'arrosoir.

Un appareil de la forme de celui représenté fig. 3721, garni de sa pompe, contenant 125 kilog. de linge, ayant 1^m,30 de hauteur sur 1^m,14 de diamètre au couvercle, vaudrait 340 francs.

Les mêmes lettres que dans la figure précédente indiquent les mêmes objets : G est un entonnoir dont le couvercle est muni dans le cas où l'appareil n'a pas de pompe.

MM. Bouillon, Muller et compagnie ont joint à leur installation propre aux blanchisseuses des aides-laveuses, qui sont des auxiliaires des plus utiles. Elles servent à dégrossir, dans le savonnage, les parties les plus sales et les moins adhérentes; l'ouvrière n'a plus qu'à faire la recherche des taches et le travail intellectuel. On peut évaluer à moitié l'économie qu'elle produit dans cette seule opération. L'aide-laveuse peut servir à faire l'essangeage de linge sans savon, et le rinçage après le savonnage. Elle est indistinctement mue mécaniquement ou à bras par une action rotative ou directe; elle fait office de bac à savonner et donne place à deux ouvrières qui, après avoir utilisé l'action



3721.

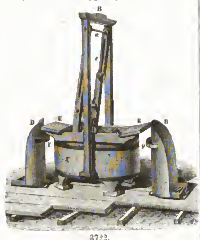
de la machine, peuvent visiter le linge et compléter son lavage sans aucun déplacement.

Une petite chaudière à circulation qui s'adapte à l'aide-laveuse sert à chauffer économiquement l'eau de savonnage et à la maintenir toujours à la température voulue. Le chauffage peut ainsi se faire au moyen de la vapeur ou d'une circulation d'eau. L'aide-laveuse est représentée dans la figure 3722.

Une caisse ou bac en bois A reçoit le linge à blanchir. Un bâti B fixé sur les joues du bac permet au râteau C d'osciller autour d'un axe horizontal *a*, lorsqu'on lui donne un mouvement de va-et-vient, au moyen d'un bâton transversal *b*. Deux blanchisseuses peuvent être placées en regard l'une de l'autre dans des stalles D qui les protégent contre l'humidité, et vis-à-vis les plans inclinés E, destinés à ramener dans le bac l'eau qui s'échappe sous les coups de battoir. Le dessin laisse voir les claies verticales contre lesquelles le linge est comprimé par le râteau C.

Une aide-laveuse à bras, à mouvement direct, pouvant fournir 300 kilog. de linge par jour, vaut 300 fr.; une aide-laveuse à mouvement rotatif, propre au lavage de 375 kilog. par jour, se vend 400 fr; une

aide-laveuse, propre à 400 kilog., munie de son appareil de chauffage, ne coûte que 600 fr. Les divers mécanismes que nous venons de faire connaître sont actuellement très-répandus. MM. Bouillon, Muller et compagnie qui se sont fait une spécialité très-importante, ont su rendre à l'hygiène publique un très-grand



3722.

service; ils ont combattu l'expansion considérable des vapeurs qui dégradent les murs et fatiguent les gens de service, l'écoulement de l'eau sur le sol, le transvasement pénible de la lessive à des températures inégales.

Les linges blanchis, c'est-à-dire lavés, sont placés pour égoutter, ou sur un des bancs fixes, ou sur des tricycles, ou sur des bancs roulants, ou bien encore sur des bâches roulantes, dont le transport est facile, sans trop grande fatigue. Les hydro-extracteurs ou essoreuses que ces ingénieurs installent avec une grande économie reposent sur le principe de la force centrifuge; on supprime ainsi la torsion qu'on fait subir au linge pour l'égoutter. Une essoreuse à bras pour femmes peut essorer par jour de 200 à 400 kilog. de linge égoutté; une essoreuse à bras, mue par des hommes, peut essorer de 1,000 à 1,400 kilog. par jour. Avec un moteur mécanique, on arrive à 1,600 kilog. par jour. Une machine de cette dernière force vaut 750 francs d'acquisition.

MM. Bouillon, Muller et compagnie ont complété leurs appareils en installant d'une manière très-heureuse de petites machines pour cylindrer, calandrer et satiner le linge. Les cylindres en bois, à pression, servent à étirer, lisser et lustrer le petit linge uni; ceux en métal chauffés servent au repassage du menu linge. Les machines à calandrer donnent le lustre du neuf; les presses à satiner forment les plis après l'apprêt.

Mais revenons aux opérations du blanchiment proprement dit.

Les passages à l'acide s'obtiennent par l'immersion des pièces réunies en paquets, ou les unes après les autres dans de grandes cuves enfoncées en terre; le maniement des pièces est facilité par un tourniquet, mû par une manivelle ou par un engrenage mis en rapport avec la force motrice de l'établissement. On remplace l'eau qui s'échappe et celle qu'entraînent les pièces; on remonte le liquide en ajoutant de l'acide pour remplacer celui que la chaux et le savon calcaire ont nécessairement saturé.

On opère à froid dans l'industrie. M. Persoz propose d'opérer à des températures comprises entre 70 et 80 degrés. Il y aurait économie, quoique avec une dépense de combustible. En effet, à cette température, les savons calcaires sont mieux attaqués par l'acide qui dissout en même temps une partie des acides gras et de la matière colorante déjà modifiée. On opérerait cette chauffe, soit à feu nu dans une cuve en plomb, soit dans une cuve en bois chauffée par la vapeur B. Les opérations mécaniques complètent les opérations chimiques; elles tendent à faire disparaître les matières solubles dont l'étoffe est imbibée, tout aussi bien que les matières insolubles répandues soit à la surface, soit dans les pores des tissus.

Ces opérations mécaniques ont pour but le *dégorgeage* des tissus et l'*essorage*. Dégorger un tissu, c'est lui faire quitter tous les éléments étrangers dont il est souillé, que ces éléments soient solubles ou non; essorer un tissu, c'est lui faire perdre la plus grande quantité du liquide qui le mouille. Ces deux phases du travail exigent l'emploi d'efforts mécaniques assez considérables, variables, au reste, avec la finesse du tissu et la nature de la matière textile dont il est formé.

La fibre textile retient, en effet, avec une grande force les matières qui s'y trouvent adhérentes. A moins d'opérer une sorte de filtration, en se servant de l'étoffe comme filtre, on ne parviendrait que très-imparfaitement à dépouiller le tissu des matières solubles qu'il renferme : encore faudrait-il un temps considérable et des masses de liquide. Il est indispensable de comprimer plus ou moins et à plusieurs reprises les pores du tissu, pour en exprimer tout le liquide retenu par capillarité; à force d'immersions et de déplacements successifs, toutes les matières solubles sont expulsées. Quant aux matières insolubles, elles ne se détachent que par des frottements répétés, et ce n'est que par l'action postérieure de l'eau qu'elles peuvent disparaître, ou projetées à distance sous l'influence de chocs, ou suspendues dans l'eau qui s'écoule par son propre poids. Dans tous les cas, l'eau devient donc un agent de première nécessité pour dégorger et nettoyer les étoffes.

Les divers appareils employés pour dégorger et nettoyer les tissus agissent par compression : tantôt les linges sont battus, tantôt ils sont comprimés par leur chute contre des parois résistantes, tantôt ils reçoivent un choc violent par l'eau qui tombe avec force; ces diverses méthodes de comprimer sont quelquefois réunies dans un même appareil.

Nous ne décrirons pas ici la série des organes si variés que l'industrie possède aujourd'hui; nous les trouvons décrits à l'article BLANCHIMENT. Nous ferons seulement remarquer qu'il convient, lorsqu'on peut choisir le système de dégorgeage, de prendre en considération, avant toute chose, la nature du tissu sur lequel on travaille; et comme généralement un établissement reçoit des tissus de résistances très-variables, il est utile d'avoir sous la main les différents appareils qu'on connaît actuellement.

Ces mêmes mécanismes sont encore ceux dont on se sert dans les teintureries pour dégorger, rincer et laver les tissus, après qu'on les a plongés dans les divers bains dont on a dû faire emploi pour les colorer en la nuance voulue. A ce titre le teinturier doit les connaître et se rendre un compte exact de la manière dont ils fonctionnent : les uns enlèvent à la fois les matières solides et les principes dissous; les autres n'enlèvent que les principes solubles.

Pour quelques-uns, le nettoyage est accompagné d'efforts considérables qui tendent à détruire les étoffes.

Pour ceux-ci, le lavage est lent; il exige beaucoup d'eau; pour ceux-là, une grande dépense est nécessaire pour réaliser un lavage parfait sur une échelle un peu considérable, relativement au travail produit; ces appareils deviennent donc coûteux.

Quelques systèmes, enfin, exigent une place considérable, sont bruyants, demandent à être solidement installés : de là, dépense d'établissement. D'autres, au contraire, n'exigeant que peu de dépenses premières, ne peuvent être employés qu'au dégorgeage des étoffes légères; ils seraient complétement impropres au nettoyage des tissus grossiers.

L'expérience journalière a prouvé que le *clapeau* se prête au dégorgeage des pièces grossières avec le moins de temps et le moins de force; si l'on ne dispose que de peu d'eau, les *batteries de Wesserling* sont préférables; mais elles ne permettent pas de laver à la fois un grand nombre de tissus. Le *plateau-battoir* n'exige que peu de force, il nettoie bien, mais il demande beaucoup de temps. Le *pilon* ou le *foulon* ne doit être employé qu'au lavage des pièces qui ne craignent pas des contractions considérables. Le *dash-wheel* est très-utile pour dégorger les étoffes fines et légères.

Lorsque les machines dont on fait usage pour le dégorgeage n'éloignent pas en même temps qu'elles la renouvellent l'eau d'imbibition des tissus, il faut après chaque immersion essorer l'étoffe. La méthode la plus simple consiste à la tordre à la cheville. On peut essorer par d'autres moyens sur lesquels nous reviendrons en parlant des étoffes teintes auxquelles il faut, pour les livrer aux marchands, enlever toute l'eau qu'elles contiennent (voyez ESSORER). On préfère donc généralement les appareils qui mouillent, immergent et compriment successivement, pour le dégorgeage des tissus à blanchir et teindre; l'essorage proprement dit ne s'exécute plus que sur des pièces terminées.

Décoloration des tissus. — Les opérations que nous venons d'exposer ont pour but d'éloigner toutes les matières gommeuses, grasses, résineuses, sucrées, mais elles ne détruisent pas la coloration de la fibre, elles préparent la décoloration proprement dite; cette dernière s'effectue par le concours d'agents qui modifient la couleur, la transformant quant à ses propriétés, sans altérer la fibre ligneuse. Nous verrons que beaucoup de teintures sont exposées au pré, lorsqu'elles ont été savonnées. Cette exposition, qui a pour but d'aviver la nuance en détruisant les couleurs accidentelles, tout en respectant la couleur plus solide qu'on veut obtenir, trouve sa théorie dans celle même du blanchiment que nous étudions. Nous entrerons donc dans quelques détails sur la décoloration proprement dite.

A. De tous les agents que l'expérience a démontrés capables de décolorer les tissus ou de détruire les couleurs végétales ou animales, accidentelles ou posées avec intention sur une étoffe donnée (nous prenons le cas le plus général), l'air est le plus anciennement connu. On sait, en effet, qu'une toile exposée successivement à l'action de l'air et des lessives alcalines finit par se blanchir; on sait, de reste, encore que beaucoup d'étoffes teintes exposées à l'air se décolorent, en perdant complétement quelquefois toute leur matière colorante.

La matière colorée qu'on veut faire disparaître dans le blanchiment n'existe qu'en très-petite quantité; l'air peut la détruire, mais il faut, pour transformer cette matière insoluble dans l'eau, dans les alcalis, dans les acides, en substance soluble dans ces agents, le concours de plusieurs circonstances sans lesquelles la modification ne saurait avoir lieu. Il est indispensable de réunir l'insolation, c'est-à-dire l'influence des rayons solaires et l'influence de l'humidité. On démontre, en effet, qu'une toile écrue placée dans un flacon bouché, sous l'influence de l'humidité, ne se décolore pas sans radiation solaire; elle ne se décolore pas davantage dans les conditions inverses, c'est-à-dire sous l'influence des rayons solaires sans humidité. Dans l'obscurité, la coloration persiste; il faut donc savoir réunir tout à la fois de l'air, c'est-à-dire de l'oxygène, du soleil et de la vapeur d'eau.

Quel est le rôle de ces divers agents? Quelle influence exerce l'oxygène?

L'oxygène agit évidemment comme matière oxydante, brûlant la matière colorée; il enlève ensuite une certaine quantité d'hydrogène qu'il transforme en eau. L'eau formée dans ce cas ne rendrait-elle pas inutile l'influence de l'humidité? L'eau dès lors ne jouerait-elle qu'un rôle secondaire purement physique, celui d'aider à l'action chimique? L'eau dissolvant l'oxygène ne permettrait-elle pas alors l'introduction de cet élément dans la fibre elle-même d'une manière plus intime, plus immédiate que ne le ferait l'air complétement sec?

Les rayons lumineux déterminent d'une manière évidente l'action chimique qui s'accomplit, qu'on admette l'oxydation pure et simple de la matière colorante, qu'on admette, au contraire, l'élimination d'une certaine quantité d'hydrogène sous forme d'eau. A plus forte raison cette influence est-elle hors de doute, lorsqu'on suppose réunies ces deux réactions successives ou simultanées. L'expérience prouve, en effet, que, l'étoffe étendue sur le pré, à l'époque à laquelle la végétation est luxuriante, par un temps clair, une température élevée, un soleil ardent, par de fortes rosées, la décoloration marche promptement. Si le temps est obscur, l'air sec, si la rosée manque, la décoloration ne progresse pas.

Pratiquement, l'opération peut être régularisée; si l'humidité fait défaut, on arrose; à cet effet, toutes les prairies réservées pour l'étendage dans les blanchisseries ou les teintureries sont irriguées, c'est-à-dire traversées de petits canaux dans lesquels on puise l'eau, par le moyen d'écopes, pour la rejeter en forme de pluie sur les pièces étendues. Mais si le soleil est caché, il faut attendre, car alors l'oxygène actif manque également. On sait, d'après les belles expériences de T. de Saussure, confirmées par les recherches beaucoup plus récentes de M. Boussingault, que la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes (décomposition de laquelle résulte l'assimilation du carbone avec dégagement d'oxygène) n'a lieu qu'en présence de la radiation solaire. L'oxygène mis en liberté dans cet acte important de la végétation, encore doué des propriétés énergiques qu'il contracte à l'état naissant, en quelque sorte *ozonisé*, se dissout dans l'eau ou dans la vapeur d'eau contenue dans l'air, et vient agir énergiquement sur la matière qui colore les toiles.

On altère donc ainsi par l'étendage au pré la première couche de l'épiderme des fibres; on lessive de nouveau pour mettre à nu la partie subjacente, et, par une nouvelle exposition à l'air, on altère plus profondément la partie colorée. Ces diverses opérations se répètent jusqu'à décoloration complète.

La décoloration est maintenue par une dernière opération qu'on désigne sous le nom de *vitriolage*. Pour conserver le blanc parfait que les pièces ont acquis sur le pré, les blanchisseurs les lavent et les dégorgent dans un bain d'acide sulfurique étendu, marquant au plus 4 degré. Ce passage aux acides était tellement reconnu comme nécessaire pour éliminer toute trace de matière décolorée, susceptible de se décolorer à la longue, que même anciennement on passait les toiles blanchies dans un bain de lait aigri. On sait que par la fermentation du lait il se développe un acide particulier qu'on nomme *acide lactique*.

On a beaucoup amélioré le procédé de décoloration par l'air, par le seul fait de la séparation des deux

opérations du blanchiment. Le dégraissage, au moyen des lessives à la chaux, des lavages acides et du lessivage aux alcalis, a mis à nu la matière colorante qui cède avec plus de promptitude à l'action de l'oxygène, sous l'influence de la radiation solaire; il convient surtout de l'employer au printemps, époque à laquelle la végétation est beaucoup plus active; d'ailleurs à cette époque les travaux des fabriques d'indiennes sont naturellement ralentis.

On connaît actuellement les conditions principales dans lesquelles se produit l'ozone, l'un des agents oxydants les plus énergiques. La production économique de cet air en dissolution peut devenir le fait le plus important dans les opérations du blanchiment ou de l'avivage; provoquer des recherches sur les moyens d'arriver à des préparations propres à l'emploi de l'ozone sur une grande échelle dans la fabrication des toiles peintes, c'est donc poser un problème dont la solution peut être prochaine; c'est ouvrir une voie nouvelle, féconde en grands résultats.

B. Depuis 1785, époque à laquelle Berthollet découvrit les propriétés décolorantes du chlore, l'emploi de cet agent a fait une concurrence sérieuse au premier procédé, surtout en raison de la possibilité de l'appliquer en toute saison. Mais le rôle du chlore n'est devenu parfaitement efficace que lorsqu'on l'a fait réagir sur des tissus préalablement dégraissés et lorsqu'on a remplacé le chlore à l'état de liberté par le chlore à l'état de chlorure décolorant.

Berthollet, trompé par la fausse composition qu'il assignait au chlore avec ses contemporains, assimilait à l'action de l'air l'action de l'*acide muriatique oxygéné;* il ajoutait, toutefois, que l'oxygène s'y trouvait condensé sous un poids considérable, et qu'il avait alors une plus grande énergie que lorsqu'on le prenait dans l'air. Cette interprétation fut immédiatement en défaut lorsqu'on établit la véritable nature du chlore et qu'on démontra qu'il devait être classé parmi les corps simples. Sa puissante énergie pour l'hydrogène fit admettre que son action était directe et qu'il décolorait en enlevant à l'état d'acide chlorhydrique une portion de l'hydrogène, transformant ainsi la matière colorante en un principe nouveau soluble dans les lessives alcalines.

Des expériences nombreuses, dirigées en vue de l'étude du chlore sur les matières colorantes, ont mis hors de doute que le principe d'une action directe est trop absolu. Certaines matières colorantes, en effet, immédiatement attaquées par le chlore humide, et sous l'influence de la lumière diffuse, résistent, au contraire, quand elles sont en contact avec le chlore sec et sous l'influence de la radiation solaire. Avec le concours des rayons du soleil, l'altération est profonde, elle se manifeste par la formation de l'acide chlorhydrique et la substitution dans la molécule colorée primitivement du chlore à l'hydrogène éliminé. L'eau semble donc intervenir dans la réaction, et l'affinité du chlore pour l'hydrogène a pour résultat de mettre en liberté de l'oxygène qui devient l'élément réellement actif. Le chlore agit ainsi d'une manière indirecte; cette réaction est conforme à ce que nous savons du rôle de l'eau pendant le contact du chlore et des acides sulfureux, arsénieux et phosphoreux qui se transforment en acides sulfurique, arsénique et phosphorique. Le chlore, en dégageant de l'oxygène à l'état naissant, se comporterait exactement comme l'air, et mieux encore, comme les parties vertes des plantes dans le blanchiment au pré. Dans les deux méthodes, il est difficile d'ailleurs de réduire l'action de l'oxygène à l'oxydation simple; il peut y avoir élimination simultanée d'une portion d'hydrogène sous forme d'eau.

Quoi qu'il en soit de l'explication qu'on adopte pour fixer le rôle du chlore, son action est acquise à la science et à l'industrie. Nous n'insisterons pas sur les méthodes à l'aide desquelles on le prépare, on les a données à l'article CHLORE. Nous ferons remarquer seulement qu'il y a beaucoup plus d'avantage à l'employer à l'état liquide qu'à l'état gazeux, et que, de tous les corps chlorés, celui qui maintenant est le plus répandu, c'est le chlorure de chaux; il présente l'emploi le plus avantageux. Nous renverrons le lecteur à l'article CHLORURE DÉCOLORANT, mais nous ajouterons ici que le chlorure de chaux n'est pas décolorant par lui-même; tant qu'il reste à l'abri du contact de l'air, il ne fait subir aux matières colorantes que des modifications insensibles; sous l'influence de l'air ou d'un acide la décoloration s'effectue. L'air contient de l'acide carbonique sous l'influence duquel le chlorure de chaux se décompose en acide hypochloreux ou en chlore, suivant qu'on interprète la réaction dans un sens ou dans l'autre :

$$Cl\,CaO = Cl + CaO.$$
$$2(Cl\,CaO) = ClO\,CaO + Cl\,Ca.$$

Pour hâter l'action décolorante, il faut donc ajouter au chlorure de chaux un auxiliaire indispensable, tantôt l'air qui n'agit qu'avec lenteur, tantôt ou l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique qui agissent plus rapidement, tantôt enfin l'acide carbonique, quelle que soit la source à laquelle on préfère l'emprunter.

En supposant un dégagement de chlore, ce sel agit comme nous l'avons dit plus haut. En supposant un dégagement d'acide hypochloreux, l'action décolorante se produirait en vertu de la propriété caractéristique de cet acide d'être par lui-même un oxydant énergique, abandonnant son oxygène à la façon de l'eau oxygénée.

L'action du chlore lui-même pourrait être rapprochée de celle de l'acide hypochloreux; mais il faudrait, par des expériences directes, démontrer que la fibre ligneuse jouit, comme la potasse et la soude en dissolution étendue, de la propriété de transformer le chlore en acide hypochloreux; rien ne le prouve jusqu'à ce jour.

Quoi qu'il en soit, il ne faut pas perdre de vue, pour comprendre toutes les précautions dont on doit s'entourer, qu'une dissolution froide de chlorure de chaux concentrée agit avec assez d'énergie pour détruire la fibre elle-même, et qu'une dissolution bouillante la désorganise encore beaucoup plus rapidement. A la longue, une étoffe mal lavée se désorganise et tombe en poussière.

Nous trouvons dans la pratique, pour la période de la décoloration comme dans celle du dégraissage, la réunion des procédés mécaniques. Les procédés chimiques qui ont pour but de soumettre les objets à décolorer (fils ou tissus) à l'action des principes actifs, sont nécessairement suivis d'opérations mécaniques dont le but est d'éliminer les produits qui résultent de l'action des premiers, et du dégorgeage, nettoyage des écheveaux ou pièces après leur décoloration incomplète ou parfaite. Ces dernières opérations s'exécutent dans les appareils que nous avons déjà mentionnés en parlant du dégraissage.

Lorsqu'on s'est procuré la dissolution de chlorure de chaux bien claire et dépouillée par le repos de toute substance étrangère, on procède au titrage de cette dissolution, on l'étend assez pour qu'elle décolore une ou deux fois son volume de dissolution d'indigo.

On obtient la décoloration par deux méthodes essentiellement opposées : tantôt en opérant au moyen de dissolutions étendues qui n'agissent que lentement, tantôt en dissolutions concentrées qui agissent beaucoup plus rapidement. Ces deux procédés ont des avantages différents. Le premier ne présente aucun danger pour l'étoffe, mais il opère avec lenteur; il est sans inconvénients pour les ouvriers; dans la seconde méthode,

il y a danger pour l'étoffe, inconvénients pour les ouvriers si les soins viennent à manquer ; mais il y a possibilité de traiter rapidement des masses considérables. On pourrait opérer avec les mêmes avantages en faisant usage de solutions étendues portées à des températures voisines de 60 à 70 degrés. Les pièces se raient facilement imbibées et dépouillées de l'air contenu dans les pores.

A. Lorsqu'on fait usage des dissolutions étendues, on opère la décoloration dans des appareils variables.

Tantôt on fait usage de cuves pouvant contenir de 400 à 500 pièces de calicot, les pièces sont pliées en paquets ; on imbibe les pièces avec la dissolution de chlorure de chaux contenue dans une première cuve, on les expose à l'air pour que la réaction se fasse, non-seulement sur la surface du tissu, mais même à l'intérieur des fibres, puis on les plonge dans une seconde cuve qui contient de l'acide affaibli. Le chlorure de chaux liquide qui mouille le tissu se décompose, et la matière colorante, en contact avec le chlore à l'état naissant ou l'acide hypochloreux mis en liberté, se trouve en partie détruite. On retire ces pièces pour les dégorger.

Tantôt les pièces sont placées dans un cuvier à lessive dans lequel on fait circuler la dissolution de chlorure de chaux ; cette méthode a l'inconvénient de ne conduire qu'à des résultats incomplets ; car il se forme des courants auxquels correspond une décoloration trop avancée, c'est-à-dire l'altération des tissus. Les points qui font obstacle à la circulation régulière ne sont que peu décolorés.

Tantôt les étoffes engagées sur des rouleaux presseurs passent en y plongeant quelque temps dans des bains de chlorure de chaux ; l'action de l'air et l'action de la batte produisent un dégagement uniforme et très-lent, trop faible pour compromettre la résistance des tissus.

Tantôt on fait tremper les pièces quinze à la fois dans une fosse carrée surmontée d'un tourniquet sur lequel on les place après une immersion de 30 à 40 minutes. On les enroule pour les transporter sur le tourniquet lui-même au-dessus d'un bain dans lequel on les déroule après qu'elles ont été égouttées, de façon que les eaux d'égouttage retournent au bain de chlorure de chaux.

Tantôt enfin les pièces, au lieu de séjourner dans le bain, s'y plongent en passant successivement autour d'un tourniquet qui les fait mouvoir et renouvelle ainsi les points de contact ; à la sortie des trois cuves juxtaposées dans lesquelles passent les mêmes pièces, elles sont comprimées entre deux rouleaux presseurs qui rejettent l'eau d'imbibition ; deux caniveaux les ramènent dans les cuves.

Là, comme toujours, les tissus passés en chlorure de chaux sont immergés dans un bain acide qui met en liberté l'agent utile dans la décoloration.

B. Lorsque la dissolution de chlorure de chaux est concentrée, le séjour des pièces dans le bain deviendrait dangereux pour la sécurité de l'étoffe ; on ne fait donc que les y faire passer d'une manière égale, en les immergeant et les exprimant à chaque passage. On les passe enfin dans un bain acide pour décomposer le chlorure de chaux. Il est convenable alors, pour ne pas incommoder les ouvriers, de mettre au-dessus de la bâche qui contient l'acide, une hotte dont le but est de conduire au dehors les vapeurs dégagées au contact de l'acide et du chlorure de chaux.

Quel que soit l'état de concentration du chlorure employé, les pièces doivent être dégorgées avec le plus grand soin, et, dans tous les cas, le blanchiment terminé par un passage dans une lessive qui a pour but d'entraîner la matière colorante modifiée sous l'influence du chlore. Après cette deuxième lessive, on lave les pièces, et s'il faut pour les besoins de la teinture un blanchiment parfait, on recommence la série d'opérations dans l'ordre que nous venons d'indiquer.

Ce n'est que lorsque les pièces sont arrivées au degré de blanchiment voulu qu'on les soumet à l'opération du vitriolage. L'acide enlève la résine qui résiste aux alcalis et qui se colorerait plus tard par le contact de l'air ; cette résine accompagne la fibre et ne la quitte que sous l'influence des acides ; ce dernier traitement a de plus pour effet de dissoudre les oxydes de fer ou d'alumine accidentellement déposés sur les tissus, et dont la présence se manifesterait après la teinture par des maculatures et des taches irrégulières.

Ce bain, généralement composé d'acide sulfurique étendu, se donne de deux manières :

A. Lorsqu'on n'a pas à sa disposition de générateur de vapeur.

B. Lorsqu'on a sous la main une chaudière pouvant au besoin chauffer les bains. Dans tous les cas, il convient de laisser déposer le sulfate de plomb que l'acide concentré du commerce contient toujours et qui se dépose quand on étend d'eau l'acide concentré. Il est indispensable, lorsque les étoffes ont passé deux ou trois fois dans le bain acide, de laver les étoffes à grande eau, puis de les dégorger complétement afin d'éloigner jusqu'aux dernières traces d'acide qui, se concentrant par la dessiccation, pourraient avoir pour effet de détruire la résistance de l'étoffe.

Maintenant que nous connaissons la théorie du blanchiment des matières textiles d'origine végétale, les appareils dont on fait usage, et l'ordre dans lequel on fait les opérations successives qui composent l'ensemble de l'art du blanchisseur, nous résumerons, au point de vue des dosages des bains, une opération sur les étoffes de coton, de toile, de lin ou de chanvre. Nous supposerons une décoloration par étendage sur le pré pour les étoffes de toile.

Blanchiment des tissus de coton. — Nous appliquerons au blanchiment du calicot les observations que nous venons de poser. Les pièces de calicot écru reçoivent pour être dégraissées :

1° Un premier lessivage à la chaux de 20 à 24 heures ; on prend pour faire la lessive 30 kilogrammes de chaux, pour 1000 pièces de calicot 3/4, qu'on fait dissoudre pour économiser la chaux dans le résidu de l'opération n° 3 ;

2° Un lavage et un dégorgeage ;

3° Un second lessivage à la chaux, de même durée que le premier et de même composition, mais fait avec de l'eau pure ;

4° Un lavage et un dégorgeage ;

5° Une immersion dans l'acide sulfurique tiède à 1°,48 ;

6° Un lavage et un dégorgeage ;

7° Un lessivage au carbonate de soude ; la lessive est faite avec le résidu de la lessive n° 12, à laquelle on ajoute 1 kilog. de carbonate de soude par 100 mètres de calicot 3/4 ;

8° Un lavage et un dégorgeage.

La décoloration s'effectue pour le même nombre de pièces en leur faisant subir :

9° Une immersion de quelques heures dans une solution de chlorure de chaux qui ne marque pas à l'aréomètre, et qui, saturée par un acide, ne dégage pas de chlore ;

10° Une immersion dans un bain acidifié par l'acide chlorhydrique à 2° Baumé ;

11° Un lavage et un dégorgeage ;

12° Un second lessivage au carbonate de soude pendant 24 heures. On ajoute 4 kilog. 5 de carbonate de soude à la quantité d'eau nécessaire au lessivage de 1000 mètres de calicot ;

13° Un lessivage et un dégorgeage ;

14° Une seconde immersion dans le chlorure de chaux semblable à l'opération n° 9 :

15° Une immersion dans l'acide chlorhydrique à 2° Baumé ;

16° Un lavage et un dégorgeage parfaits.

D'après les chiffres produits par M. Persoz, le montant approximatif de la dépense nécessaire au blanchiment de 10,000 mètres de calicot se balance par :

60 kilogrammes	de chaux.	4 fr.
55 —	de sel de soude.	37 fr.
55 —	de chlorure de chaux. .	16 fr.
Acide	. . . .	10 fr.
Main-d'œuvre et frais généraux	. . . .	150 fr.
		214 fr.

Soit 1 fr. 07 par pièce de 50 mètres. Les frais de main-d'œuvre diminueraient beaucoup si la fabrication était exercée sur une plus grande échelle.

Ce procédé permet de remplacer les alcalis caustiques par leurs carbonates. Il n'en résulte pas d'inconvénient; car les carbonates alcalins dissolvent aussi bien les corps gras à l'état libre et jouissent de plus de l'avantage de décomposer par double décomposition les savons calcaires en formant des savons alcalins et du carbonate de chaux. Dans l'origine de ce procédé, les résultats satisfaisants étaient obtenus même en l'absence de toute décomposition par les acides des savons calcaires résultant du lessivage à la chaux.

Dans ce même procédé, l'acide qui sert à décomposer le chlorure de chaux est l'acide chlorhydrique et non l'acide sulfurique. Non-seulement, il y a formation de chlorure de calcium qui, déliquescent, entretient une humidité plus uniforme dans toutes les parties de la pièce, mais il y a dégagement d'une quantité plus considérable de chlore dans le cas où le sel contient du chlorate de chaux. Il est donc rationnel de préférer une méthode comme celle que nous venons de décrire, car elle apporte économie au double point de vue de la main-d'œuvre et des matières premières. Cette considération acquiert un grand poids par suite des baisses de prix qui conduisent forcément le fabricant à diminuer incessamment le chiffre des frais occasionnés par les opérations du blanchiment. C'est même pour satisfaire à ces conditions d'économie qu'ont été disposés les systèmes dits *continus*.

Pour nous rendre compte de ces systèmes, supposons cousues à la suite les unes des autres plusieurs pièces de calicot avant ou après le lessivage; on les supporte par un nombre suffisant de cylindres qui servent aussi de rouleaux de tension; on fait mouvoir la tête des pièces en la faisant immerger successivement dans les bains convenables, acides, alcalins, de chlorure de chaux, acides, etc.; on intercale entre chaque bain des appareils à nettoyer et dégorger. Un mouvement continu permet donc de conduire l'étoffe blanchie convenablement dans les appareils à sécher. Cette méthode réunit alors à l'économie des opérations chimiques celle des opérations mécaniques qui n'est pas moins importante.

Par les procédés perfectionnés que nous venons d'exposer, on évite toute fermentation acide qui jouait un si grand rôle dans la pratique du blanchiment des calicots, surtout anciennement. Nous allons en dire quelques mots, car elle n'est pas abandonnée partout, et quelques teinturiers l'appliquent encore à l'avivage de certaines nuances. Les points théoriques sur lesquels nous insisterons ici éclaireront plus tard quelques points consacrés par la routine.

On laisse macérer la pièce dans une cuve avec plus ou moins d'eau tiède, et pour déterminer une certaine fermentation on ajoute une petite quantité de son. La pièce doit être complétement immergée pendant toute la durée de l'opération : soit 40 à 50 heures pendant l'été, 3 à 5 jours pendant l'hiver.

Si les pièces ne sont pas convenablement submergées, la température de la masse s'élève considérablement au centre surtout; il s'y produit une espèce de pourriture nuisible à la résistance du calicot. S'il y a trop d'eau, la fermentation se règle mal, et l'on ne parvient que très-imparfaitement à faire disparaître le gluten et les matières amylacées que contient la fibre, et dont on cherche à se défaire. Au point de vue des besoins de la teinture, cette ancienne méthode a l'inconvénient de transformer les matières, ou certaines matières résineuses fixées à l'étoffe, de telle sorte qu'en contact avec quelques principes colorants, ces résines modifiées les rendent adhérentes aux tissus. Les molécules de garance, par exemple, sont attirées avec énergie et viennent *teindre* les parties altérées; ce genre d'altération ne se produit jamais lorsque le lessivage à la chaux supprime la fermentation.

Nous ne quitterons pas ce sujet sans exprimer un regret, c'est qu'on ne connaisse pas encore le degré de solubilité de la matière colorante du coton dans les lessives de diverses forces et dans les savons, depuis 60 jusqu'à 181 degrés, température correspondant à 10 atmosphères; on ignore ainsi quelle est la température la plus favorable pour blanchir les tissus. Si quelques praticiens font usage d'appareils à haute pression, rien ne prouve que ce soit avec avantage; la science n'a pas encore démontré l'utilité de cette pratique.

Blanchiment des tissus de lin et de chanvre. — Les méthodes que nous venons de décrire, très-simples, rationnelles, actives dans le cas du blanchiment des tissus de coton, sont bien moins efficaces quand on les applique au blanchiment des tissus de fils de lin et de chanvre. La matière colorante est en plus grande quantité dans ces dernières, elle est plus résistante, et les matières grasses et résineuses ne cèdent pas aussi facilement à l'action des agents, dont on ne saurait augmenter l'énergie sans compromettre la solidité de l'étoffe. Il faut donc répéter successivement les opérations que nous avons indiquées; pour les fils de lin, on va jusqu'à faire subir à la pièce quatre lessivages à la chaux, en les faisant suivre, pour l'opération du dégraissage, d'autant de lavages à l'acide, puis au carbonate alcalin.

Les étoffes de lin et de chanvre sont celles auxquelles on applique le plus généralement la décoloration par l'étendage au pré. Nous supposerons donc ici que nous voulions traiter pour la blanchir la toile commune écrue.

Le dégraissage s'opère au moyen des opérations suivantes, savoir :

1° Un premier dégommage à l'eau tiède;

2° Un second dégommage dans les mêmes conditions;

3° Un lessivage à chaud dans une dissolution de savon vert;

4° Une lessive de 4 heures dans un mélange de chaux vive et de sel de soude qui forme une lessive caustique.

La décoloration s'exécute au moyen d'opérations subséquentes, savoir :

5° Une première exposition au pré, pendant 2 ou 3 jours, suivant la saison ou l'état de l'atmosphère;

6° Une seconde lessive de 3 heures;

7° Un nettoyage et dégorgeage;

8° Une nouvelle exposition au pré de 4 à 5 jours;

9° Une troisième lessive de 4 heures;

10° Un nettoyage et un dégorgeage;

11° Une troisième exposition au pré, de 4 à 5 jours, selon l'état de l'atmosphère;

12° Un dernier passage aux acides. On peut recom-

mencer les passages en lessive et l'exposition au pré, si les pièces n'ont pas le blanc qu'on désire.

Les chiffres qui suivent permettent de se faire une idée des frais occasionnés par cette méthode.

Pour composer la lessive, d'après des renseignements fournis à M. Persoz par MM. Kœchlin frères, on prenait : 45 kilog. de potasse des Vosges ;
20 kilog. de chaux ;
35 kilog. chlorure de sodium ;
1200 kilog. d'eau.

On porte à l'ébullition pendant une heure ; on laisse déposer ; on décante, et on ajoute à la dissolution limpide 7 fois son volume d'eau claire. Ces quantités de matières servent pour une lessive propre à 300 pièces. On répète cette même dépense à chaque lessive qu'on fait subir aux matières à décolorer.

Quelque soin qu'on ait apporté dans la pratique des différentes opérations que nous venons de décrire, il est urgent de reconnaître l'état des toiles destinées à la teinture, soit qu'on veuille préparer des teintes unies, soit qu'on veuille les transformer en tissus imprimés ; à cet effet, on soumet à des épreuves convenables des morceaux d'étoffes prélevés au hasard sur l'une des pièces faisant partie d'une série soumise à la succession des opérations du blanchiment.

Si le blanchiment n'avait pas fait disparaître toutes les parties grasses, en passant l'étoffe, par exemple, dans une cuve d'indigo, la couleur ne prendrait pas également sur toutes les parties ; si l'on imprimait en uni, les parties grasses fixeraient la couleur, ce qui formerait des taches, diminuant la valeur de la teinture. Si l'on cherchait à produire des dessins sur fond blanc, ces taches macuieraient la partie blanche ; dans le cas où le fabricant voudrait ensuite enlever ces taches, il s'exposerait à l'inconvénient de détruire la solidité de la pièce.

Pour s'assurer de l'état dans lequel se trouvent les pièces blanchies, on en prélève un échantillon qu'on coud à la suite des pièces *mordancées* qui passent dans un bain de garance. Nous verrons plus loin que le mordançage a pour but de fixer la garance qui, par elle-même, ne contracte aucune adhérence avec la fibre végétale. La pièce, en passant dans le bain de garance, devra se colorer d'autant moins que le blanchiment aura reçu le plus de perfection, c'est-à-dire qu'on aura détruit le plus de matières étrangères à la fibre. Dans tous les cas, la coloration devra se présenter unie et sans maculatures.

Ce mode d'épreuve ne révèle pas toujours les accidents qui peuvent survenir, lorsqu'on imprime des tissus blanchis. Certaines natures de graisse ou de résine ont par elles-mêmes si peu d'affinité pour la matière colorante de la garance, qu'elles n'en fixent que des quantités insignifiantes, tandis qu'au contraire, par l'intermédiaire de certains sels d'alumine ou de fer, il y a fixation d'une coloration assez sensible. Avec de semblables toiles, on court le risque de voir apparaître une coloration rose prononcée, soit unie, soit sous forme de taches, lorsque par suite de l'opération du *bousage* elles auront été mises en contact avec l'excédant de sel à base d'alumine ou de fer que le bain de bouse a redissous, et lorsque ces taches auront fixé l'une ou l'autre de ces bases.

Il convient donc, pour n'être pas surpris au milieu d'une opération, de répéter l'essai du garançage d'un échantillon sur un nouvel échantillon préalablement passé dans un bain de bousé : si le morceau d'étoffe ne se colore pas à cette double épreuve, ou si la teinte est légère et très-uniforme, on en conclut que l'échantillon est complétement débarrassé de matières étrangères à la fibre ; on peut conclure que toutes les pièces en essai sont de bonne qualité.

Blanchiment des étoffes d'origine animale.

Si les procédés à l'aide desquels on prépare à la teinture les étoffes de coton, de lin et de chanvre, diffèrent notablement de ceux auxquels on soumet dans le même but les tissus de laine et de soie, on n'a que de faibles modifications à faire subir aux procédés qui servent au blanchiment des laines pour les approprier au blanchiment des soies. Nous les ferons connaître d'une manière sommaire. Dans cette opération, comme dans celle qui s'applique au travail des calicots, nous aurons à distinguer le dégraissage et le blanchiment, et, pour ces deux phases, des moyens mécaniques et des agents chimiques.

Blanchiment des laines et mi-laines (chaîne-coton). — Il est urgent d'abord de débarrasser la matière textile de tous les corps étrangers, gras, résineux, salins, qui peuvent la souiller. Ce n'est qu'après cette première opération qu'on peut songer à la décolorer d'une manière prompte, efficace, durable.

1° *Dégraissage.* — On comprendra sans peine que les étoffes de laine ne puissent être dégraissées, n'est-à-dire débarrassées des matières cireuses, graisseuses, salines et résineuses qui constituent, par leur association à la fibre textile, un tissu de laine, au moyen des méthodes que nous avons appliquées au blanchiment des tissus d'origine végétale. Les alcalis caustiques, en effet, ne dissolvent-ils pas les fibres, comme nous l'avons dit ; et la chaux ne les désorganise-t-elle pas à ce point que la fibre ainsi traitée perd toute énergie pour fixer la matière colorante? On est donc forcé d'avoir recours d'abord à l'action des cristaux de soude, et si cet agent n'est pas assez fort, on fait usage des savons qui, tantôt dégraissent en saponifiant les corps gras directement par l'alcali qu'ils renferment en excès, et tantôt agissent en se décomposant sous l'influence de l'eau, de manière à former des acides gras qui dissolvent mieux les matières résineuses, insolubles dans l'eau, tout comme elles le sont dans les carbonates alcalins.

Quant aux températures auxquelles on opère le lessivage, elles diffèrent encore notablement de celles qu'on choisit pour blanchir les toiles de coton, de lin ou de chanvre. On doit redouter une élévation de température et n'opérer qu'entre 60 et 70 degrés ; les appareils dans lesquels on lave et rince les tissus de laine sont aussi généralement différents de ceux qu'on emploie dans le dégorgeage des tissus de coton ou de lin. Presque toujours les étoffes de laine ont besoin d'être tendues en passant dans les dissolutions alcalines pour éviter les contractions qui gêneraient la teinture. On se sert de la machine à foularder, dite encore machine à plaquer, parce que c'est elle dont on se sert pour mettre sous épaisseur uniforme les intermédiaires capables de fixer sur les tissus les matières qui par elles-mêmes ne teindraient pas (voyez IMPRESSION, 2e volume). Chaque pièce passe une fois ou deux au fond d'une auge remplie de lessive ; elle en sort ensuite pour être exprimée par deux rouleaux qui font retomber dans l'auge l'excédant de la lessive, et s'enroule sur des cylindres mobiles en bois qui se nomment *bobines*, et qui servent à transporter le tissu. Quand les pièces ont été pendant un temps suffisant en contact avec la lessive, on change les bobines de place, et, les transportant au-dessus de nouveaux bains ou d'eau pour laver, ou de carbonate de soude et de savon pour opérer un dégraissage plus complet, on les fait circuler une seconde fois ; on a soin de répéter ces opérations tant qu'on ne juge pas le dégraissage suffisamment avancé. Ce n'est qu'alors qu'on passe à la dernière phase du blanchiment à la décoloration.

2° *Décoloration des tissus.* — L'action du chlore sur

les fibres d'origine animale étant toujours accompagnée d'une désorganisation profonde et d'une coloration jaune plus ou moins intense, on ne peut songer à faire usage des principes employés pour le blanchiment des tissus qui proviennent du tissage des fibres du coton, du lin et du chanvre. On est forcé d'avoir recours à de nouveaux agents, et l'usage a consacré l'emploi de l'acide sulfureux.

La réaction est ici d'une tout autre nature que celle qui prend naissance dans le contact du chlore avec la matière colorante; dans le dernier cas, la matière ayant changé de propriétés est éliminée sous forme soluble; dans le cas de l'action de l'acide sulfureux, il semble qu'il n'y ait rien qu'une combinaison de l'acide avec la matière colorée qui se fixe sous forme incolore au tissu sans élimination. Ce phénomène rentre dans la classe de ceux observés par M. Chevreul dans l'action de l'hydrogène sulfuré sur l'hématine, et par M. Kulmann dans l'action de l'acide sulfureux sur les matières colorées d'origine végétale.

L'acide sulfureux, employé depuis une époque dont on ne peut préciser la date, est en usage presque partout pour blanchir les étoffes et les fils de laine; on l'obtient par la combustion du soufre dans des chambres qu'on nomme *soufroirs* (voyez ACIDE SULFUREUX, 2e volume). On opère tantôt avec l'acide sulfureux gazeux, tantôt avec l'acide sulfureux liquide. Nous ne décrirons ici ni la préparation de l'acide sulfureux gazeux, ni les appareils dans lesquels les laines sont mises à blanchir; mais nous indiquerons la possibilité de se servir d'acide liquide ou d'acide combiné. O'Reilly depuis fort longtemps a fait voir qu'en soumettant des étoffes à l'action d'un liquide contenant de l'acide sulfureux liquide, on obtient un blanchiment beaucoup plus complet que par l'acide gazeux. Il suffit de 4 heures d'immersion dans un liquide disposé dans des appareils analogues à ceux dont on fait usage dans le blanchiment par le chlore liquide ou combiné pour obtenir une décoloration satisfaisante.

M. Persoz indique comme procédé très-économique pour la préparation de l'acide sulfureux le moyen suivant : on calcine dans des cylindres de fonte un mélange de sulfate de fer et de fleurs de soufre. La formule

$$3\,(SO^3)\,Fe^2O^3 + 5\,S = 6\,(SO^2) + 2\,(FeS)$$

rend compte de la réaction. On chauffe à peine au rouge. On dispose l'appareil comme pour la fabrication de l'acide nitrique, mais on charge d'abord une portion du sulfate de fer dans la partie antérieure de l'appareil, puis le mélange de soufre et de sulfate, en sorte que le soufre en vapeurs rencontre d'abord du sulfate de fer chaud qu'il décompose avec facilité. On conduit le gaz qui se dégage dans un tonneau laveur rempli de paille ou de mousse humectée; il se rend de là dans une caisse munie d'un agitateur ou d'une cascade chimique comme pour la dissolution du chlore. En opérant sur 1500 grammes de sulfate de fer supposé pur et sur 1000 grammes de soufre, on obtiendrait 340 litres de gaz acide sulfureux sous la pression de 0m,76 et à la température de 0°. Or, comme l'eau dissout à la température ordinaire 43 fois son volume d'acide sulfureux, on obtiendrait avec ces doses 79 litres d'eau saturée.

Je suis surpris qu'on n'ait pas encore introduit dans l'industrie l'emploi de l'acide sulfureux combiné comme on le fait pour le chlore; les appareils appliqués dans les deux cas seraient les mêmes, et par l'exposition à l'air des tissus imbibés de sulfite alcalin on pourrait obtenir une décoloration convenable. Sans doute cette innovation conduirait à quelques tâtonnements pour fixer la densité du liquide et connaître la force de l'acide à mettre en contact avec le tissu chargé de sulfite dans le cas où l'acide carbonique de l'air serait insuffisant ou d'une énergie trop faible pour agir promptement à la température ordinaire; il faudrait encore aussi se prémunir contre la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique par condensation dans les pores du tissu, transformation qui compromettrait la solidité de l'étoffe; la présence d'une base dans le sel primitivement employé mettrait facilement de côté cette cause de destruction.

Nous pensons devoir faire connaître ici un appareil très-simple, employé par M. Kopp pour faire absorber l'acide sulfureux par une dissolution de polysulfure de calcium dans la fabrication du vermillon d'antimoine. Le gaz sulfureux est produit ou par la combustion du soufre brut, ou par la calcination des pyrites, ou par le grillage du sulfure d'antimoine (fig. 3723.)

Une série de cuves disposées en étages A, A' sont en communication par un tuyau B avec l'appareil producteur du gaz sulfureux; une cloison E existe dans chaque cuve; elle force le gaz acide sulfureux à descendre pour se trouver au contact de la dissolution et de la pluie liquide produite par le mouvement de rotation d'une roue à palette F; la cloison E' force le gaz à redescendre encore avant de se rendre dans la cuve A' qui absorbe les portions qui ne se sont pas dissoutes; elles y pénètrent par un tuyau *b*; un robinet H permet d'écouler le liquide contenu dans la cuve A' dans la cuve A lorsqu'elle a été vidée par le tuyau I du liquide légèrement acide qu'elle renferme : quand on juge à propos de remplir directement d'eau pure la cuve A on débouche l'orifice K; le tampon L permet de remplacer le liquide combiné dans la cuve A'. Un cône métallique M, dans lequel on place quelques charbons ardents, active le tirage du tuyau d'appel N qui doit aspirer l'acide sulfureux, les roues à palettes F tournent dans le même sens; elles sont commandées par le même moteur; des roues d'engrenage de différent diamètre règlent une fois pour toutes la vitesse de rotation convenable pour une absorption régulière.

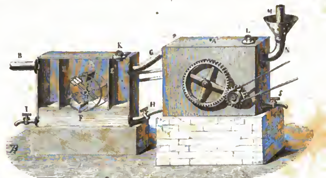
Lorsque les tissus par des immersions répétées dans des bains convenables sont suffisamment dégraissés et décolorés, on les passe dans un bain spécial dit d'*azurage* pour rehausser le ton, et surtout pour faire disparaître dans les tissus de *chaîne-coton* la nuance jaune que conserve le lainage.

On a fait emploi pendant longtemps, pour remplir ce but, de sulfate de cuivre, ou de toute autre préparation blanc ayant pour base l'oxyde de cuivre. Mais on y a bientôt renoncé devant les accidents graves auxquels cet azurage donnait lieu toutes les fois que les laines étaient teintes et fixées par la vapeur. On doit à M. Chevreul cette observation importante, que sous l'influence de la vapeur d'eau et d'une température élevée, le soufre dont nous avons constaté la présence dans la fibre même qui constitue la laine se porte sur les oxydes en présence desquels il se trouve, et lorsque les sulfures qui résultent de cette combinaison sont colorés, la laine prend une teinte colorée, uniforme si l'oxyde est régulièrement réparti, sous forme de tache si l'oxyde est irrégulièrement déposé. Telle est la cause assignée par M. Chevreul, en 1837, à des taches qui s'étaient manifestées sur des laines soumises blanches à la vaporisation, et devenues colorées par l'opération. Cet illustre chimiste avait reconnu que ces étoffes s'étaient trouvées accidentellement, pendant le travail, en contact avec des sels de cuivre, d'antimoine, d'étain, de plomb, avant leur passage à la vapeur, et que, sous l'influence de l'agent, il y avait eu production d'un sulfure coloré. La couleur brune que la laine prend, quand on la plonge dans un mélange d'acétate d'alumine et d'acétate de plomb, a la même origine; on évite ces inconvénients en se servant, pour azurer, de carmin ou d'acétate d'indigo qu'on ajoute en proportion variable avec le goût du commerçant.

Nous terminerons ce chapitre en faisant remarquer que l'industrie manque encore d'une bonne méthode,

qui réduise la matière colorante et qui l'expulse. Les laines d'apparence blanche tiennent cette qualité bien plus de celle de la matière que de l'effet du blanchiment, en sorte qu'on emploie pour ces 100 pièces 36 kil. de carbonate de soude;

5° Les pièces passent ensuite au soufrage, elles res-



3723.

ment; il serait intéressant de trouver une marche rationnelle qui supprimât l'azurage complémentaire avec lequel on imite un faux blanc.

Pratique du blanchiment des tissus de laine. — Nous réunirons ici l'ensemble des opérations qui constituent le blanchiment des laines tel qu'on l'exécute aujourd'hui. Nous supposerons avec M. Chevreul qu'on ait à blanchir 100 pièces de mousseline de laine, ayant 60 mètres de longueur, soit 6,000 mètres d'étoffe :

1° Les pièces sont assemblées par mises de cinq, et cousues ensemble jusqu'à la fin des opérations. Chaque mise est enroulée sur des bobines. Les 100 pièces forment ainsi vingt mises; chaque mise est garnie aux deux bouts de deux garats en toile de 2 mètres environ, cousus solidement pour protéger les chefs de chaque extrémité de la mise;

2° On monte un bain avec 7 kilog. de carbonate de soude, et 1k,75 de savon blanc, à la température de 50 degrés, dans une cuve à foularder, garnie de son rouleau presseur et convenablement chauffée par la vapeur;

On y fait passer la première mise trois fois de suite dans les rouleaux. Avant d'y faire passer la deuxième mise, on ajoute 500 grammes de savon bien dissous, en maintenant la température toujours à 50 degrés. On remonte de même le bain par 500 grammes de savon, pour la troisième, la quatrième et la cinquième mise; après le passage de ces cinq mises, on vide la cuve que l'on remonte à neuf pour cinq autres mises, en sorte que pour les 100 pièces on emploie 28 kilog. de carbonate de soude, et 15 kilog. de savon blanc;

3° On rince ensuite deux fois chaque mise dans un bain d'eau à 35 degrés, monté dans l'appareil à foularder, où l'on renouvelle l'eau pour chaque mise;

4° On monte un bain avec 7 kilog. de carbonate de soude à la température de 50 degrés centigrades; on y fait passer trois fois la première mise entre les rouleaux; avant d'y faire passer la seconde mise, on remonte le bain avec 50 grammes de carbonate de soude très-limpide, et l'on maintient la température à 50 degrés centigrades. On remonte de même le bain avec 50 grammes de carbonate de soude avant le passage de la troisième et de la quatrième mise; on remonte à neuf une nouvelle cuve pour le passage de la cinquième

tent 12 heures dans le soufroir, compris le temps nécessaire pour garnir et dégarnir la chambre; on consomme 25 kilog. de soufre;

6° Au sortir du soufroir les pièces sont rincées dans un courant d'eau froide qu'on renouvelle continuellement;

7° On répète l'opération 4°, en ayant soin d'employer pour faire les bains nécessaires aux 100 pièces 36 kilog. de carbonate de soude;

8° On répète l'opération du soufrage avec 25 kilog. de soufre;

9° On rince encore à l'eau courante;

10° On lessive avec le carbonate de soude, en consommant 36 kilog. de carbonate de soude;

11° On soufre de nouveau, toujours avec 25 kilog. de soufre;

12° On rince enfin en eau tiède;

13° On rince en eau froide en établissant un courant.

On azure, au moyen d'un passage dans le carmin d'indigo, qu'on fixe dans la dernière opération du soufrage, lorsque les pièces sont destinées à la vente en blanc; elles peuvent d'ailleurs ne recevoir qu'un seul soufrage. Quant aux pièces destinées à la teinture en nuances claires et brillantes, il faut leur donner le dégraissage et la décoloration la plus complète, afin d'obtenir des nuances ou des impressions irréprochables. On ne doit soumettre les pièces décolorées avec l'acide sulfureux qu'à des températures peu élevées, afin de ne pas détruire par la chaleur le principe incolore qui résulte de la combinaison de l'acide sulfureux avec la matière colorante; il se dégagerait de l'acide et la coloration apparaîtrait de nouveau.

Observations générales.

On a pu voir par ce qui précède toutes les lenteurs qu'on rencontre dans les opérations courantes du blanchiment. Nous avons signalé les points encore délicats qu'il était possible d'aborder. Disons quelques mots des tentatives faites dans ces dernières années pour introduire dans la pratique de nouveaux agents.

On a fait en Prusse, dans une douzaine de fabriques, des expériences en grand sur l'emploi du verre soluble comme savon; en général, les résultats n'ont pas été satisfaisants; on nettoie bien, il est vrai, les tissus

de coton par l'emploi de cette matière, mais son action n'est pas supérieure à celle du sel de soude ; elle est de beaucoup inférieure à celle du savon alcalin. Les fils et tissus traités par les silicates alcalins conservent presque toujours une dureté et une rigidité désagréables ; le blanc est d'ailleurs moins pur et plus salissant ; les taches sont difficiles à faire disparaître ; la silice qui reste dans les fibres après le lavage fait repartir inégalement le duvet, bien qu'on ait cherché par un rinçage des plus soignés à l'éliminer complétement.

Employé pour l'avivage des couleurs garancées, cet agent n'a pas donné de meilleurs résultats. Le blanchiment des tissus de lin et de chanvre n'a pas été couronné de plus de succès. Cependant, il faut dire que le lessivage des linges grossiers de ménage réussit plutôt avec un mélange de savon et de verre soluble qu'avec le silicate alcalin sans addition.

M. Chapoteaut fils, pharmacien à Decize (Nièvre), a fait connaître qu'on opère avec facilité le lessivage au moyen d'un mélange de 4 grammes d'acétone, 20 grammes d'essence de térébenthine, et 40 grammes d'ammoniaque liquide. Si l'acétone recevait cet emploi, sa fabrication deviendrait facile par la décomposition, sous l'influence de la chaux, de l'acétate de soude obtenu par le contact du carbonate de soude avec le gaz provenant de la distillation des bois.

Blanchiment des soies. — Nous n'avons plus qu'à dire quelques mots du blanchiment des soies, pour passer à l'étude de la teinture proprement dite.

Les étoffes qu'il s'agit de blanchir ont été déjà soumises à l'opération du décreusage, ou bien elles sont écrues. Il faut, par conséquent, plus de travail dans le second cas que dans le premier.

Lorsqu'il s'agit de blanchir des soies déjà décreusées, il suffit d'immerger les tissus dans une eau courante, puis de les laver dans une lessive formée de 60 grammes de savon, et 500 grammes de son par pièce de 40 mètres environ : le son, par son acide, affaiblit l'action de l'alcali du savon, il détruit moins la soie ; en sortant de ce bain, les pièces sont dégorgées à 40 degrés, lavées à l'eau froide, puis nettoyées dans les roues à laver (Dashwheel).

1° *Dégraissage.* — Dans le second cas, on immerge les pièces, après les avoir introduites dans un sac, dans une chaudière remplie d'une eau tenant en dissolution 250 grammes de savon pour 1 kilog. de soie. Après avoir chauffé graduellement et maintenu l'ébullition pendant 2 ou 3 heures, on nettoie à l'eau courante. L'étoffe bien rincée reçoit un second bain semblable au premier, on la dégorge de nouveau dans la roue à laver. Lorsque le dégorgeage est complet, on termine par un passage dans l'eau contenant 15 grammes de carbonate de soude cristallisé pour chaque pièce de 40 mètres. La pièce est alors dégorgée, rincée et passée dans un bain d'acide sulfurique qui ne marque pas à l'aréomètre. On termine enfin par un dernier lavage à l'eau chaude, suivi d'un battage à l'eau courante après avoir rincé.

2° *Décoloration.* — Les tissus de soie blanchis de la sorte sont d'un blanc assez vif pour recevoir toutes les colorations foncées ; mais quand ils sont destinés à recevoir des nuances très légères, il convient de les exposer à l'action d'un léger soufrage. C'est là que l'emploi de l'acide sulfureux liquide est parfaitement approprié ; il faut dans tous les cas agir avec la plus grande circonspection pour ne pas altérer le tissu.

Au reste pour les soies, les opérations du blanchiment et de la teinture s'exécutent généralement sur des fils ou des écheveaux qu'on livre ensuite aux tisserands. Le travail du blanchiment a souvent pour but de dégraisser et de décolorer entièrement la fibre ; dans d'autres cas, au contraire, on veut seulement assouplir le fil ; on nomme soies assouplies celles qui n'ont subi que l'action prolongée pendant une heure environ de l'eau chaude à 80 ou 90 degrés centigrades ; on conserve ainsi tout le poids que la soie possède, tandis que par le décreusage ordinaire il diminue d'environ 25 p. 100. Mais le volume augmente par une sorte de gonflement de la matière fibreuse ; ces soies sont réservées pour les parties non apparentes des tissus ; on sait, par exemple, que dans les satins dont la chaîne est brillante, la trame est presque toujours en fil simplement assoupli. Quand la couleur le comporte, le blanchiment du fil est suivi d'un engallage ; quand on engalle les soies assouplies on trouve forcément une augmentation de poids. Nous signalerons toutefois une variété de soie de Chine qui perd par l'eau seule de 15 à 20 p. 100 ; l'engallage ne fait donc que diminuer cette perte de poids.

Quelques observations sur le décreusage des soies peuvent trouver leur place ici : lorsque les soies ont été dévidées dans des eaux calcaires ou chargées de sels inorganiques, ces sels peuvent se fixer sur la fibre et conduire à des accidents dans les opérations subséquentes auxquelles on soumet les soies, ou pour les cuire ou pour les teindre. L'expérience prouve en effet que lorsque la soie moulinée laisse plus de 1 gramme de cendres, cette soie prend un aspect terne au décreusage et qu'elle reçoit mal la teinture.

Si l'on soupçonne avoir à traiter une soie de cette espèce, il faut commencer par la traiter avant de la décreuser par un lavage à l'eau légèrement acidulée d'acide chlorhydrique, puis avec une faible dissolution alcaline. On enlève de la sorte les oxydes inorganiques qui, pendant le décreusage au savon, forment des savons insolubles et pénètrent dans les fibres en leur enlevant leur éclat soyeux.

On connaît à Lyon, sous le nom de soie Tussah, une soie d'une espèce particulière, qui n'est importée que depuis 1846 et qui nous vient par l'Angleterre ; elle est réservée pour des usages spéciaux à cause de sa résistance ; elle est d'un prix plus bas que celui des soies les plus communes.

M. Guinon, de Lyon, a fait connaître en 1849 l'emploi des alcalis caustiques pour décreuser et décolorer cette soie. Dans une solution alcaline de soude caustique marquant 3 degrés à l'aréomètre et 100 degrés centigrades, on plonge la soie qu'on agite pour que l'action soit uniforme. Pendant cette première opération, la matière colorante se dissout immédiatement, la soie cède environ 0,12 de son poids, sa rudesse disparaît ; elle devient souple en même temps qu'elle acquiert du brillant et l'éclat soyeux. Cette immersion ne doit pas se prolonger au delà d'un quart d'heure, autrement on risquerait de voir la soie s'altérer profondément par l'action de la soude dont l'énergie est augmentée par la température à laquelle on opère. Au sortir de ce bain, on lave à l'eau et on passe en acide sulfureux ; on lave, on blanchit encore en acide sulfureux, puis on lave une dernière fois. Il est évident que ces répétitions ne sont nécessaires que pour la teinture en nuances claires.

La soie n'a rien perdu de ses qualités ; son affinité pour les matières colorantes n'a pas augmenté, mais en acquérant la souplesse, le brillant et l'éclat des soies ordinaires, elle est devenue propre à recevoir la teinture. On peut lui appliquer toute couleur, excepté cependant les couleurs tendres, telles que blanc, rose, bleu de ciel, paille et gris fin.

M. Petzl à Lyon donne, pour opérer le décreusage de la soie Tussah, les recettes suivantes : on la soumet à trois reprises pendant 3 à 6 heures à l'action d'un bain formé de :

Carbonate de soude. . .. 11 kilog.

Potasse du commerce. . . 1
Potasse caustique 51
Eau choisie. 315

après ces trois traitements on agite la soie pendant 15 minutes dans un quatrième bain renfermant :

Potasse du commerce. . . 11
Chlorure de chaux. . . . 2
Eau. 315

après cette opération la soie est lavée dans de l'eau froide et immergée pendant dix minutes dans un bain composé d'acide chlorhydrique, 22 parties, et 315 litres d'eau. Pour ajouter à l'éclat, on la passe enfin dans un bain d'acide nitrique très-étendu d'eau, on rince et on passe entre des cylindres pour allonger les fibres.

Lorsqu'on fait usage d'acide sulfureux gazeux pour blanchir les soies, on doit, pour éviter l'altération des fibres, mettre dans les chambres un excès de soufre, et protéger les écheveaux suspendus sur des tringles de bois enveloppées de toile. Au sortir du soufroir, les écheveaux sont placés dans des draps de toile simplement humectés, et transportés dans une autre chambre où la marchandise est abandonnée à elle-même pendant 12 heures. L'action de l'acide sulfureux se prolonge lentement, et s'il se forme de l'acide sulfurique, il agit sur les enveloppes qui sont promptement corrodées. J'ai vu prendre à Lyon ces précautions indispensables pour conserver aux fils leur brillant et leur solidité ; on les rince après le soufrage.

Nous n'aurons rien à dire de l'opération qu'on nomme séchage ; on la pratique sur les pièces teintes par immersion dans un bain de teinture soit sans impression, soit après impression. Nous aurons donc à décrire les méthodes dont on fait usage, après avoir exposé les opérations de la teinture proprement dite.

§ V. Théorie
des phénomènes de teinture.

On désigne généralement sous le nom de teinture l'art qui a pour objet de fixer les matières colorantes sur les fils ou les tissus. Nous répéterons que d'après M. Chevreul on doit préciser cette définition en la modifiant de la manière suivante :

L'art de teindre consiste à imprégner, aussi profondément que possible, le ligneux, la soie, la laine et la peau, de matières colorées qui y restent fixées mécaniquement ou par affinité chimique, ou enfin à la fois par affinité et mécaniquement.

On teint en effet par *imprégnation mécanique*, par *imprégnation chimique* et tout à la fois par *imprégnation chimique et imprégnation mécanique*. C'est l'ensemble de ces trois moyens qui constitue la science du teinturier.

Imprégnation mécanique. — Depuis près de trente ans, on colore dans l'atelier de teinture des Gobelins des fils au moyen de matières qui n'y sont fixées que mécaniquement par adhésion et par interposition. Ce procédé ne donne que des couleurs très-claires ; mais si l'on emploie des matériaux solides, comme le charbon, l'outremer, l'oxyde vert de chrome, pur ou combiné par le feu, du peroxyde de fer, de l'ocre, du cinabre, de phosphate de cobalt, on obtient des couleurs inaltérables, tandis qu'au contraire la production des mêmes nuances par l'affinité chimique ne conduit qu'à des couleurs éphémères. Des soies et des laines, colorées en gris-perle par un mélange d'outremer et de charbon employées en tapisseries pour meubles se sont parfaitement conservées après dix ans d'usage, lorsque quinze jours de soleil auraient suffi pour décolorer les mêmes nuances obtenues par les procédés ordinaires.

Imprégnation chimique. — Les étoffes de coton et les tissus de soie plongés quelques heures dans la dissolution d'un sel de peroxyde de fer se colorent par affinité chimique ; elles enlèvent du peroxyde de fer à l'acide ; c'est l'exemple d'une fixation de couleur par affinité chimique ; que cette couleur soit végétale, animale, minérale, la coloration s'effectue en raison du même principe.

Imprégnations chimiques et imprégnations mécaniques simultanées. — D'autre part, des étoffes avant d'être lavées à grande eau à leur sortie d'un bain ferrugineux, passées dans un bain alcalin, en sortent bien plus foncées qu'elles ne l'auraient été sans l'intervention de l'alcali. Dans ce cas, outre l'oxyde de fer fixé par l'affinité chimique, il y a la portion de cet oxyde qui est adhérent par son interposition mécanique ; c'est le peroxyde provenant de la décomposition par l'alcali du sel ferrugineux en excès qui pénétrait les fibres textiles quand on les a retirées du bain. Une petite quantité de l'alcali qui se combine à l'oxyde de fer contribue encore à foncer la couleur de l'étoffe.

Tels sont les trois cas principaux qui peuvent se présenter dans les opérations pratiques de la teinture.

On a défini généralement la teinture l'art d'appliquer des matières colorées ou colorantes sur les étoffes, de ligneux, de soie, de laine, par l'intermédiaire d'un corps souvent incolore qu'on nomme *mordant*. Cette définition, qui nous semble devoir être rejetée comme incomplète, est vivement combattue par M. Chevreul qui s'appuie sur les motifs suivants :

1° Elle ne comprend pas le cas où l'on teint par imprégnation d'une matière qui n'adhère que mécaniquement.

2° Elle ne comprend pas le cas où l'on teint par affinité en plongeant un tissu dans une dissolution ferrugineuse, dans du sulfate d'indigo, dans une cuve d'Inde, dans une dissolution de brou de noix.

3° Elle ne comprend pas le cas où, après avoir combiné du peroxyde de fer à de la cellulose ou de la soie, on la convertit en bleu de Prusse en passant l'étoffe dans un bain de cyanoferrite ou de cyanoferrure de potassium acidulé.

Nous admettrons donc avec l'illustre directeur des teintures des Gobelins que cette définition est trop restreinte, et d'ailleurs, sans proscrire le mot de *mordant*, il ne faut l'employer que comme expression d'atelier dont il est difficile, sinon impossible de donner une explication rationnelle en tant qu'on cherche à la généraliser. Si dans d'autres industries le mot de mordant peut être synonyme de fixatif, ici cette expression devient impropre, car elle ne signifie pas assez ; les mordants dans les arts n'agissent en aucune façon chimiquement, leur rôle est basé sur leurs propriétés physiques. En teinture, au contraire, il y a réaction chimique indubitable et leurs affinités spéciales les font choisir dans des cas déterminés. Cette considération nous conduit en effet à considérer les étoffes colorées comme formées par l'adhérence de la fibre avec un composé défini dans la nature, la proportion, l'arrangement des éléments lorsqu'il s'agit d'une teinture dans laquelle l'affinité rassemble plusieurs corps mis en présence. Ce composé peut être binaire comme le peroxyde de fer, ternaire comme la carthamine, quaternaire comme l'indigotine. Il peut être un principe colorant quaternaire comme l'indigotine, ou ternaire comme la carmine, la luteoline, l'hématine, uni tantôt avec une base, tantôt avec un acide insoluble, tantôt avec un sous-sel ou même un sel neutre.

Dans tous les cas, on comprend que le poids de l'étoffe est toujours très-fort relativement à celui du composé coloré, et comme la première doit conserver sa ténacité, il faut éviter dans la teinture l'emploi de toute pratique qui tendrait à l'altérer dans sa ténacité, son brillant, sa souplesse.

Qu'on admette aujourd'hui qu'il convient de ne plus sacrifier à l'usage, il nous sera bien vite accordé qu'il

serait préférable de dire *aluminer*, *enferrer*, *plomber*, etc., les tissus qu'on veut colorer au moyen de la garance, de la gaude, etc., puisque ces expressions ne représentent à l'esprit qu'un fait évident, la fixation sur l'étoffe d'une certaine quantité d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de plomb, etc. Quant à l'expression générale de *mordançage*, ne suffirait-il pas de la remplacer par celle de *préparation*, alors il faudrait dire *tissus préparés*, terme générique pour toutes les pièces ayant subi les préparations nécessaires, quelles qu'elles soient, au point de vue chimique, pour les rendre propres à contracter adhérence avec les matières colorantes ou colorées. On s'est servi longtemps, pour désigner la préparation qu'on faisait subir au coton, du mot *animaliser*; il est inutile de dire que l'usage ne l'a pas conservé.

La science de la teinture, ou, ce qui revient au même, la chimie appliquée à cette industrie doit, ainsi que nous l'avons dit ailleurs, définir les corps nécessaires à toutes les opérations d'atelier, les circonstances les plus favorables à l'action mutuelle des étoffes et des corps mis en contact avec elles, les conditions les plus convenables à l'adhérence complète de la coloration, la nature des produits colorés. Pour faire cette étude d'une manière profitable, utile, il faut attaquer la question dans son ensemble et former des divisions qui satisfassent un esprit logique. « Il est évident, dit à ce sujet M. Chevreul dans son rapport sur les tapisseries exposées à Londres, qu'il n'existe pas de difficultés lorsqu'une étoffe mise en contact avec une matière colorante dissoute dans un liquide la précipite en s'y unissant et formant avec elle un principe insoluble.

« Telle est l'action du sulfate d'indigotine sur une étoffe; il reste sur celle-ci une matière colorante qui résiste à l'eau, c'est du sulfate d'indigotine et non de l'indigotine, puisqu'on peut l'enlever à l'étoffe avec de l'eau alcalisée chaude.

« Telle est encore l'action d'une étoffe sur la solution d'un sel à base de peroxyde de fer; il se produit, suivant toute apparence, un sous-sel de peroxyde, lequel peut être réduit par des lavages ultérieurs à l'état de peroxyde pur.

« Mais lorsqu'un corps acide, alcalin ou salin, dissous dans l'eau n'est pas dans le cas de laisser un corps coloré sur les étoffes ou que l'eau employée en quantité suffisante peut dissoudre tout le corps coloré qui s'y est fixé d'abord, comment reconnaître s'il y a action mutuelle entre les corps mis en présence? On le peut par une méthode qui consiste à comparer l'état d'une solution acide, alcaline, saline avant et après son contact avec une étoffe donnée. On peut reconnaître alors :

« 1° Que l'étoffe a absorbé proportionnellement plus d'eau que du corps dissous.

« 2° Que le contraire a eu lieu.

« 3° Que la solution est après le contact dans l'état où elle était auparavant. Ce résultat n'est pas un motif de conclure qu'il n'y a pas d'action, parce que, à la rigueur, il peut y en avoir une. Si on la soupçonne, il est nécessaire de répéter l'expérience en employant des solutions faites dans des proportions différentes de celles qu'on a employées en premier lieu. »

Par l'emploi régulier de cette méthode expérimentale, M. Chevreul a constaté qu'une solution aqueuse d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique qui se concentrent sur le ligneux, parce que celui-ci attire proportionnellement plus d'eau que d'acide, devient plus étendue par le contact de la laine et de la soie, celles-ci absorbant plus d'acide que d'eau.

Il a vu qu'il est des sels solubles qui s'unissent aux étoffes par une affinité assez forte pour que l'eau froide cesse d'en dissoudre une quantité sensible aux réactifs, et cependant ces étoffes en retiennent une quantité appréciable. Tel est l'azotate de plomb et la laine. La laine lavée jusqu'à ce qu'elle ne cède plus de sel de plomb sensible à l'acide sulfurique en retient assez pour brunir par l'acide sulfhydrique quand on la plonge dans cet acide.

C'est donc après avoir étudié les actions des acides, des alcalis et des sels sur les étoffes, qu'on pourra déterminer les réactions qui se passeront entre les principes colorants maintenus en dissolution ou précipités au moyen de ces mêmes agents.

La pratique journalière des ateliers a fait voir que sous ce rapport toutes les substances connues colorantes d'origine végétale et d'origine animale se conduisent de manières bien différentes dans leurs rapports avec les fibres textiles.

Dans certains cas il suffit, en effet, pour obtenir une teinture durable, de mettre la matière colorante dissoute en contact avec le fil ou le tissu; nous citerons l'indigotine, la carthamine, la curcumine.

Dans d'autres circonstances les couleurs ne se fixent qu'au moyen de certains agents intermédiaires qui sont nécessaires pour faire adhérer la couleur; de cette espèce sont la garance, la cochenille, les bois de Brésil et de Campêche, etc.

D'autre part une matière colorante donnée ne se conduit pas de la même manière avec toutes les fibres textiles, et les teinturiers n'ignorent pas que le coton, le lin, la laine et la soie n'offrent pas à la teinture ou une nuance donnée la même facilité; de plus les couleurs obtenues n'offrent pas la même résistance.

La force qui détermine entre les deux corps, fibre et principe colorant, une adhérence déterminée n'est donc pas la même pour toutes les fibres. Quelle est la cause de cette adhérence, quelle est la cause de cette inaltérabilité pour celles de ces substances colorées qui jouissent d'une grande solidité? Elle a pendant longtemps et à juste titre été l'objet des préoccupations des hommes éminents qui depuis plus de soixante-dix ans ont voulu jeter sur l'industrie de la teinture les lumières de la science.

Des opinions très-diverses ont été tour à tour admises à ce sujet. Il nous paraît digne d'intérêt de les discuter ici.

Hellot et Lepileur d'Apligny ne voient dans la fixation des couleurs qu'un effet mécanique; Berthollet, Macquer, Bergmann, M. Chevreul, M. Persoz et d'autres voient dans cette fixation un effet chimique. Nous avons déjà fait sentir qu'il fallait, pour rester dans le vrai, faire la part à chaque influence et reconnaître dans beaucoup de cas la simultanéité des effets physiques et chimiques sur les phénomènes de la coloration des étoffes par voie de teinture. Cette question, de nouveau remise à l'ordre du jour par l'un des plus habiles manufacturiers de l'Angleterre, M. Walter Crum qui semble opiner vers les idées de Hellot et Lepileur, est devenue l'origine de travaux consciencieux et très-importants; tout récemment encore M. Kuhlmann, d'une part, et M. Verdeil, d'autre part, ont présenté des observations que nous mentionnerons en leur lieu et par ordre chronologique.

Opinion de Hellot. — Hellot voit dans la fibre de la laine la cause de l'adhérence; les matières colorantes s'y fixent parce qu'elles pénètrent dans les cavités laissées à l'intérieur des fibres, lorsque ces canaux ont été dilatés par la chaleur; elles s'y trouvent mastiquées ensuite par les astringents qui font presque toujours partie des bains de teinture; elles y sont comprimées enfin par les lavages à l'eau froide.

Opinion de Lepileur d'Apligny. — Lepileur d'Apligny, postérieurement à Hellot, applique à la soie, au lin, au coton même, les théories que le premier savant appliqua à la laine. Il retrouve dans la fibre textile, quelle que soit son origine, une contexture, une orga-

nisation similaire en tubes ou sacs; et c'est par la plus ou moins grande ténuité de ces tubes ou sacs, c'est par la différence de leur diamètre et de leur longueur, qu'il explique l'énergie variable avec laquelle les fibres de coton, de laine ou de soie s'emparent d'une matière colorante donnée.

Opinion de Dufay et de Bergmann. — Dufay, en 1737, et Bergmann, beaucoup plus tard, en 1776, ont eu recours aux affinités chimiques, pour expliquer la propriété dont jouit une substance colorante de s'unir à telle matière textile, de préférence à telle autre. Bergmann, principalement, dans son travail sur l'indigo, expose nettement que si le sulfate d'indigo se trouve absorbé par la laine en plus grande quantité que par la soie, la cause doit résider dans la différence des affinités des deux fibres pour la matière colorante, puisque dans un cas, pour une même dissolution de sulfate d'indigo, la laine enlève au bain de teinture toutes ses parties colorantes, tandis que, dans le cas de la soie, une partie seulement de la coloration se trouve absorbée.

Opinion de Macquer. — Penchant au commencement de sa carrière scientifique vers les idées de Hellot, Macquer n'hésite plus à déclarer, en 1778, que non-seulement les colorations des tissus tiennent à la quantité de matière introduite dans les pores ou sacs que les fibres présentent, mais qu'elles résultent encore de certains jeux d'affinité puissante entre la matière des fibres elles-mêmes et la matière colorante. Il insiste surtout sur les phénomènes que présentent les couleurs qu'on ne peut fixer que par l'intermédiaire de l'alumine ou de l'oxyde de fer, et qui contractent, par la présence de ces intermédiaires, une solidité presque complète. Toutes les notions fournies par l'empirisme ont été l'objet, de la part de Macquer, d'études plus approfondies que celles qu'on avait tentées avant l'application de la théorie de l'affinité, pour expliquer l'adhérence des matières colorantes aux fibres textiles. Macquer fut conduit, par des observations intéressantes, à poser en principe qu'on recourt à l'emploi de l'alumine, du fer, etc., pour fixer les matières colorantes solubles dans l'eau; mais qu'on s'en dispense, toutes les fois qu'on veut colorer au moyen des substances qu'il désigne sous le nom de matières *résino-extractives*, savoir, les principes colorants du brou de noix, du sumac, du santal, de la racine de noyer, de l'écorce d'aulne; ou bien encore les matières *résineuses*, comme l'indigo, le rocou, l'orseille, le carthame. L'objet de la teinture, dans les idées de Macquer, était de précipiter à l'état de matières insolubles, par l'intermédiaire de l'alumine et du fer, les matières solubles qui, par le contact de la fibre et à l'état naissant, s'y combinaient alors, comme les matières résineuses ou résino-extractives.

Une expérience très-curieuse, et que Macquer cite, semble mettre hors de doute l'importance de l'affinité chimique exercée par les divers tissus, sur une matière colorante donnée; elle nous paraît avoir contribué puissamment à faire intervenir dans l'esprit du savant académicien l'influence des forces chimiques.

« Si, après avoir aluné, autant que possible, 500 grammes de laine et 500 grammes de soie, on les teint ensuite séparément, chacune dans un bain de cochenille, elles prendront l'une et l'autre un cramoisi très-beau et très-solide; mais à quantité de cochenille égale, dans chaque bain, la couleur de la laine aura infiniment plus de plénitude et d'intensité que celle de la soie; cette différence est si grande, qu'on ne peut parvenir à donner au cramoisi de la soie autant d'intensité qu'à celui de la laine qu'en y employant une quantité de cochenille plus que double, c'est-à-dire qu'il faut 76 grammes de cet ingrédient pour donner aux 500 grammes de soie un cramoisi aussi plein que celui que les 500 grammes de laine prennent avec 30 grammes de cochenille. Et l'on ne peut pas dire, avec M. Lepileur d'Apligny, que cela vient de ce que les pores de la soie étant beaucoup plus fins que ceux de la laine, elle ne peut prendre les parties les plus fines de la cochenille, tandis que la laine les prend toutes, parce que ses pores sont plus grands ou plus nombreux; s'il en était ainsi, il devrait rester beaucoup de couleur dans le bain, où la soie a pris tout ce qu'elle peut prendre, et a refusé d'en prendre davantage; or, c'est ce qui n'arrive point; au contraire, il est constant que la soie, à raison de 76 grammes de cochenille par 500 grammes de soie, laisse son bain aussi clair et aussi épuisé de couleur que l'est celui de la laine teinte par 30 grammes de cochenille. »

Il y a donc, dans ce cas, une quantité considérable de carmine à l'état latent; elle l'est, parce que la combinaison de la carmine avec la soie n'a pas la même intensité de couleur que la combinaison correspondante de laine et de carmine.

Opinion de M. Walter Crum. — Tout en modifiant l'opinion de Hellot, M. Walter Crum a remis ou voulu remettre en vigueur les idées de Hellot, en les modifiant toutefois. Nous allons donner, d'après M. Persoz, un aperçu de l'opinion de M. Walter Crum, en présentant, d'après ce même savant, les faits qui permettent de réfuter la théorie du manufacturier anglais.

En s'appuyant sur les anciennes expériences de Th. de Saussure sur le charbon qui peut absorber les gaz sans les dénaturer, en proportions variables, suivant la nature de ces gaz, suivant sa nature propre et sa porosité, M. Walter Crum déclare que plusieurs des opérations de la teinture sont du domaine des actions capillaires décrites par de Saussure, en accordant toute confiance aux observations microscopiques qui ont porté sur les fibres de coton composées, comme on le sait, de tubes creux et transparents. L'hypothèse de la porosité des fibres étant une fois admise, on fixe la base minérale d'une couleur obtenue de la garance, l'alumine ou l'oxyde de fer, par exemple, en la traitant par un acide volatil, l'acide acétique; il se fait une solution qui par le temps, au contact de la fibre dans l'intérieur de laquelle elle pénètre, se décompose en abandonnant l'oxyde et l'acide se dégage; cette solution s'altérerait de même sans le concours du coton. Et si la base reste adhérente, au point de résister à l'action du lavage le plus complet, c'est que l'oxyde déposé dans le tube ne peut plus en être éloigné par des méthodes mécaniques. Postérieurement, le coton préparé par l'immersion dans le sel alumineux est en contact avec le bain de garance. La matière colorante se combine en vertu d'une véritable action chimique.

M. Walter Crum s'appuie, pour établir sa théorie, sur ce que l'on ne pourrait faire dépendre l'adhérence des couleurs de la force d'attraction qui unit les corps atome à atome, sans admettre en même temps la désorganisation de l'étoffe; et l'expérience prouve qu'après avoir enlevé la matière colorante par des agents chimiques appropriés, la fibre se retrouve sans altération; elle n'a pas perdu ses propriétés caractéristiques.

Soit à l'œil nu, soit à l'aide du microscope, on découvre que la teinture n'est pas uniforme, que la coloration est accumulée dans l'intérieur des tubes, que la coloration soit jaune, rouge ou bleue. Dans la teinture en bleu par l'indigotine, il n'y aurait pas combinaison, simplement dépôt d'indigo bleu dans l'intérieur des fibres.

M. Persoz répond à ces arguments, en ce qui concerne la décomposition de l'acétate d'alumine, que M. Walter Crum a pris comme exemple que la décom-

position par une surface inerte comme le mica, le verre, est très-faible, tandis qu'au contraire elle est beaucoup plus forte avec l'intervention d'un tissu de coton. D'ailleurs, on a fait une observation capitale qui trouve sa place ici. Lorsqu'on évapore une dissolution d'alun cubique dans une capsule, un verre de montre, par exemple, il se dépose de l'alun cubique. Mais si l'on a fait plonger dans la dissolution un tissu de coton avant l'évaporation, on obtient, indépendamment des cristaux cubiques, des cristaux d'alun octaédrique. Les tissus ont donc enlevé, sans autre influence, une certaine quantité d'alumine. Quant à ce qui concerne l'existence des sachets, sacs ou canaux, et leur remplissage par l'oxyde, on n'en comprend pas bien la possibilité, puisque dans l'impression les sels d'alumine sont appliqués visqueux et épais. Sous cette forme, ils ne chassent que bien imparfaitement l'air dont les tubes sont remplis. L'objection prend une gravité plus grande encore en présence de ce fait, qu'on apprête avec l'empois d'amidon, auquel on ajoute une certaine quantité de sulfate de cuivre, les pièces qu'on veut teindre en bleu de cuve, afin d'économiser une portion d'indigo. Dans ce cas, l'apprêt devrait être un obstacle à la teinture, car il remplit les pores des fibres; il paraît au contraire les favoriser.

A ce fait nous pouvons ajouter plusieurs faits analogues. Lorsqu'on veut obtenir le rouge turc, on commence par saturer de préparations huileuses les toiles à teindre; on les plonge ensuite dans des compositions astringentes, comme une décoction de noix de galle, de sumac, etc., avant de faire intervenir le sel d'alumine qui doit s'emparer de la matière colorante de la garance.

Lorsqu'on dépose à la surface d'une toile de coton du sulfate de plomb, qui est, comme on le sait, insoluble dans l'eau, ce sel ne contracte aucune adhérence à la fibre; mais on peut le fixer par un simple passage dans l'eau de chaux. Le sel n'a pu cependant pénétrer dans les pores de la fibre, en devenant soluble.

Enfin, beaucoup de couleurs qui n'ont avec les étoffes que peu d'adhérence, même quand on les présente avec certaines préparations, s'y fixent avec une grande énergie lorsqu'on fait intervenir l'oxyde d'étain. Cet oxyde, de même que les corps gras et les corps astringents dont on fait usage dans la fabrication du rouge d'Andrinople, ne devrait-il pas, s'il n'y avait pas d'autre action que celle du corps vésiculaire, gêner la coloration, loin de la favoriser?

Dans le cas de couleurs imprimées, le microscope fait voir que la surface seule est teinte; et ce qui prouve qu'il en est ainsi, c'est que la couleur disparaît encore par l'emploi des rongeants épaissis. Si la couleur avait pénétré les fibres, l'acide épaissi pourrait-il, en s'introduisant dans les cellules, dissoudre la matière colorante? Il y a, d'ailleurs, une limite dans l'épaisseur à laquelle il convient d'appliquer la couleur; trop d'épaisseur donne une nuance qui manque d'éclat et de transparence.

Telles sont les preuves que M. Persoz oppose aux idées de simple action capillaire : il formule lui-même sa pensée, qui ne s'éloigne peut-être que par les expressions de celle de M. Chevreul, dont le nom se retrouve chaque fois qu'on parle de teinture; c'est celui de tous les chimistes modernes qui, par ses fonctions aux Gobelins, devait le plus approfondir cette étude intéressante. Ses travaux sur ce sujet sont devenus classiques.

Opinion de M. Chevreul. — D'après l'illustre académicien, les *phénomènes de teinture* se rapprochent de ceux qu'on considère comme dépendant des forces moléculaires, causes de l'action chimique; il démontre que ces phénomènes sont du nombre de ceux que l'on constate, lorsque deux ou plusieurs corps sont en contact, et que leur combinaison ou juxtaposition s'effectue d'une manière lente. Nous n'insistons pas puisque nous avons déjà mentionné l'art de la teinture d'après la définition même de cet illustre savant.

Opinion de M. Persoz. — M. Persoz, formulant sa pensée, déclare que la fixation des couleurs sur les étoffes n'est due qu'à l'attraction. Pour arriver à cette démonstration, il établit quelques considérations générales sur la fixation des matières colorantes, puis il passe en revue les principaux phénomènes d'attraction, dans le double but de faire remarquer les différences qu'ils peuvent offrir, et de découvrir ceux qui présentent le plus d'analogie avec la fixation de telle ou telle couleur. Nous empruntons à son traité de l'impression, presque textuellement, l'exposé qu'il fait lui-même de son opinion.

« Le règne organique et le règne inorganique, le premier surtout, fournissent un grand nombre de substances qui possèdent la propriété de teindre les étoffes, soit qu'elles constituent des couleurs par elles-mêmes, soit qu'elles entrent comme éléments dans des composés colorants plus compliqués; mais pour recevoir une application, ces substances simples ou composées doivent réunir, si ce n'est par elles-mêmes, du moins par l'intervention de corps convenablement choisis, deux qualités essentielles : la première, celle d'*être insolubles ou peu solubles*; la seconde, celle de *résister le plus possible à l'action destructive de l'air et des rayons solaires*. La première de ces qualités est indispensable, car vient-elle à faire défaut, il y a coloration de l'étoffe, mais il n'y a pas teinture, dans l'expression restreinte du mot; un simple lavage à l'eau suffit pour faire disparaître la couleur. La seconde ne l'est pas au même degré, puisqu'elle dépend de la stabilité qu'on désire donner aux couleurs déposées sur le tissu.

« L'indigotine, la carthamine, la curcumine, le peroxyde de fer, l'oxyde de chrome, le sulfure d'arsenic, le sulfure d'antimoine sont des matières colorantes par elles-mêmes. Quand on interroge l'expérience sur les moyens de les faire adhérer aux tissus, au point qu'ils fassent corps avec eux, on trouve qu'il est de toute nécessité ou de former ces corps sur l'étoffe même, en mettant en présence de celle-ci les éléments qui les constituent, et dont un, au moins, doit être soluble, ou, si ces couleurs sont préalablement formées, de les faire entrer dans une combinaison soluble dont on imprègne le tissu pour les mettre ensuite en liberté, de telle sorte qu'elles soient en contact immédiat avec lui, lorsqu'elles passent de l'état soluble où elles se trouvent dans leur combinaison, à l'état d'insolubilité qui leur est propre, lorsqu'elles sont isolées. »

L'indigo blanc est soluble; l'air le transforme ensuite en indigo bleu qui n'est plus soluble. La couleur rouille s'obtient au moyen du sulfate de protoxyde de fer, qui se décompose à l'air, en formant de l'oxyde de fer hydraté. La carthamine et les sulfures d'arsenic et d'antimoine se préparent aussi sur l'étoffe même. Pour toutes les autres matières colorantes, le principe est donc le même; la garance, dont le principe colorant est soluble, n'est fixée qu'à l'état de laque.

Les bois de teinture et l'acide chromique doivent être déposés sur l'étoffe à l'état de sel soluble, puis précipités; il n'y a proprement dit d'adhérence que lorsque le composé se forme sur la fibre même. L'usage a fait passer en loi que la fibre est imprégnée d'abord du corps qui présente pour le tissu le plus d'affinité. On opère la décomposition par le corps qui en présente le moins. S'il y a peu de différence entre l'affinité des deux éléments pour la fibre, on fixe indifféremment l'une ou l'autre. Pour teindre en noix de galle et fer, on plonge sans grand avantage l'étoffe dans la noix de

galle, pour la décomposer par le sel de fer, ou bien, on commence par *enferrer* l'étoffe pour l'*engaller* ensuite.

Nous devons donc distinguer dans tous les cas deux phases successives dans les phénomènes de la teinture :

1° Formation du principe colorant, résultant de l'action chimique analogue à celle des décompositions parfaitement connues.

2° Fixation de la couleur, c'est-à-dire coloration, adhérence de la matière qui vient d'être formée. Ces deux phases ne peuvent être confondues.

A quelle classe de phénomènes chimiques comparerons-nous les phénomènes qui déterminent l'adhérence ? Dans quel cas se forme-t-il une combinaison ? Nous pouvons admettre trois circonstances particulières.

A. Lorsque deux corps dont les particules sont en présence présentent des propriétés physiques très-éloignées, les composés qui résultent de leur combinaison ont des propriétés très-différentes de celles des éléments constitutifs. Les phénomènes dont il est question ici sont toujours accompagnés de dégagement de chaleur.

B. Mais lorsque les corps qu'on met en présence n'ont que des propriétés très analogues, les phénomènes qui se produisent à leur contact ne semblent capables de déterminer autre chose qu'une juxtaposition immédiate des corps en présence. A cet ordre d'idées nous rapporterons les cristallisations par voie d'attraction des sulfates isomorphes, des aluns et des silicates. Nous nous représentons la puissance de cette force par la superposition de lames d'alun de chrome sur des cristaux d'alun d'alumine, et par l'adhérence que présentent les deux faces juxtaposées.

C. L'attraction capillaire permet d'expliquer une troisième série de métamorphoses considérées sous le point de vue de l'adhérence à laquelle elles conduisent. On sait que le charbon absorbe les gaz en raison de la nature du gaz sur lequel on opère ; la quantité de gaz absorbé varie avec la pression sous laquelle a lieu l'expérience et la température que possède le charbon. D'autres substances possèdent aussi le même pouvoir. Les gaz sont condensés souvent sous un poids considérable ; dans ces conditions, ni le gaz, ni le charbon n'ont été chimiquement altérés.

Ayant à choisir entre ces trois ordres de phénomènes, M. Persoz explique l'adhérence des matières colorantes aux tissus de soie, de laine et de coton par une juxtaposition immédiate et simple de la couleur sur la fibre ; il s'appuie sur de nouveaux faits, la superposition par exemple d'une couche d'indigo et d'oxyde de fer sur une étoffe donnée; l'expérience prouve que la couche a pris d'autant moins d'adhérence qu'elle a pris plus d'épaisseur.

« Si l'adhérence dépendait des pores, toutes les substances insolubles devraient pouvoir être logées dans ces pores, le sulfate de baryte, comme le chromate de plomb, le carbonate de baryte, comme l'oxyde de plomb, l'oxyde de zinc comme l'alumine et l'oxyde d'étain. Or, l'expérience prouve-t-elle qu'il en soit ainsi ? Ne démontre-t-elle pas, au contraire, que les uns, tels que le sulfate et le carbonate de baryte, le sulfate et le carbonate de chaux, n'adhèrent jamais à la fibre, quelles que soient les conditions dans lesquelles on les place, tandis que les autres s'y combinent avec la plus grande facilité ? Dans l'opinion que nous soutenons, ces différences de résultat n'ont rien d'extraordinaire, puisque les dimensions des équivalents des corps n'étant plus les mêmes, ne présentant pas toutes des faces semblables à celles de la fibre, ils n'ont pas une égale aptitude à y adhérer.

« Il est d'ailleurs un fait qui nous semble justifier l'influence de la dimension et de la forme de la molécule dans la fixation des matières colorantes : c'est que parmi les oxydes métalliques, ceux qui se combinent aux tissus avec le plus d'énergie et dans les conditions les moins différentes sont précisément les hydrates des trois oxydes isomorphes, alumine, oxyde de fer, oxyde de chrome. »

Toutefois je ferai remarquer que cet argument ne saurait être présenté d'une manière absolue, car on trouve dans les oxydes de plomb et d'étain, dont le volume atomique diffère beaucoup du volume de l'alumine et de l'oxyde de fer, une tendance souvent considérable pour faire adhérer les couleurs.

Dans tout ce qui précède nous avons vu qu'on n'avait pas fait intervenir comme cause de l'adhérence la composition chimique des fibres textiles. Les différents rapports qu'on observe entre l'hydrogène, l'oxygène et le carbone de la cellulose provenant du lin, du chanvre et du coton, et ces éléments pris dans la laine et la soie ont paru sans influence sur l'affinité que ces diverses substances produisent à l'égard des matières colorantes ; néanmoins on a cru pouvoir attribuer à l'azote un rôle plus actif accrédité dès l'origine dans l'esprit des premiers chimistes qui se sont occupés de cette question. Macquer, entre autres choses, avait écrit :

« Ce qui paraît résulter de plus général de ces détails particuliers, c'est que la laine et même toutes les matières d'origine animale sont de toutes les substances qu'on peut teindre celles qui se prêtent le mieux aux opérations de la teinture, que le fil et toutes les matières d'origine végétale sont au contraire celles qu'il est le plus difficile de teindre, celles qui prennent le moindre nombre de couleurs et de plus qui les prennent les moins belles et les moins solides ; enfin que la soie et les autres substances qui paraissent tenir le milieu entre les matières purement animales et celles qui sont purement végétales tiennent aussi le milieu à cet égard dans les opérations de la teinture. »

Partant de cette idée, quelques teinturiers ont considéré, dans la teinture en rouge d'Andrinople, l'emploi des fientes et des bouses comme devant introduire dans le coton un principe azoté, comme capable de lui communiquer une sorte d'animalisation. Cette théorie dut être abandonnée lorsqu'on apprit à remplacer dans la pratique ces bains animalisés par des liquides, tels que les dissolutions de silicates ou de phosphates alcalins. D'autres preuves contre la doctrine de l'animalisation sont fournies par M. Kuhlmann dans son travail remarquable sur la teinture des matières textiles modifiées par l'introduction de la vapeur nitreuse dans leurs molécules.

Voici les conclusions intéressantes qu'il a consignées dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences t. XLII, p. 673 et 711.

Opinion de M. Kuhlmann. — Lorsqu'on transforme en pyroxyle un tissu de coton ou de laine et du coton en laine, et qu'on cherche à teindre les produits qui résultent de la transformation, contrairement à toute prévision, et surtout à la doctrine qui tendrait à faire admettre d'une manière absolue l'existence de l'azote dans la matière à teindre, la pyroxyline se refuse à la teinture. Ce fait résulte des expériences qui suivent et que nous allons exposer d'une manière sommaire.

La pyroxyline, formée par un mélange d'acide nitrique monohydraté et d'acide sulfurique concentré, a été soumise à des opérations pratiques de teinture et d'impression en fabrique, en même temps que les mêmes échantillons de tissu de coton et de lin et les cotons en laine sur lesquels on avait prélevé l'échantillon pour le transformer.

Les échantillons disposés pour l'essai ont été foulés, rincés, lavés à l'eau bouillante, lavés à froid, séchés

et calendrés ; on les a chargés d'une même préparation de fer, d'alumine ou de fer et d'alumine. Ces essais devaient servir à l'obtention de six nuances.

Pour le *noir*, on imprime du pyrolignite de fer à 7 degrés Baumé, épaissi à l'amidon ;

Pour le *puce*, 2 parties de pyrolignite de fer à 10 degrés et 1 partie de pyrolignite d'alumine épaissi à l'amidon ;

Pour le *rouge*, pyrolignite alumine à 8 degrés, épaissi à l'amidon ;

Pour le *violet*, pyrolignite de fer à 1 degré, épaissi à l'amidon ;

Pour le *lilas*, pyrolignite de fer à 1/2 degré, épaissi à l'amidon soluble ;

Pour le *bois*, décoction de cachou avec l'acide acétique mêlé d'un peu de nitrate de cuivre.

Après l'impression, les tissus sont restés suspendus six jours dans la chambre à oxyder froide et six jours dans la chambre à oxyder chaude ; on a dégommé par l'immersion dans un bain de bouse de vache additionné de craie, à 70° pendant 10 minutes, nettoyé, puis dégommé pour la seconde fois dans le même bain, à la même chaleur, nettoyé de nouveau, rincé. La teinture s'est faite simultanément pour tous les échantillons avec de la garancine dans un bain d'eau de rivière légèrement acidulé : on est entré à 35 degrés en élevant progressivement la température de manière à arriver en trois heures à 85 degrés. On a foulé, rincé et nettoyé, puis séché. Les échantillons teints ont été séparés en deux, une moitié blanchie par le chlorure de chaux.

Toutes ces opérations permirent de constater les résultats suivants :

Tous les tissus azotés restèrent excessivement pâles, comparés aux tissus non azotés, malgré la surabondance de matière tinctoriale.

Le tissu azoté, quoique se refusant à se charger de la préparation métallique, semble posséder la propriété de se combiner sans le concours de ces derniers avec une partie de la matière colorante de la garance, à en juger par la nuance jaunâtre qui persiste même après le passage en chlorure.

Ces mêmes faits se sont reproduits avec de la pyroxyline préalablement lavée à l'eau faiblement alcalisée par le carbonate de soude.

La teinture en noir de galle avec le pyrolignite de fer a conduit aux mêmes observations ; les tissus azotés ne prirent que peu de fer et restèrent après la teinture très-pâles en comparaison des tissus de coton et de lin non transformés en pyroxyline.

Quelques teintures en bleu de Prusse sur du coton en laine donnèrent lieu, comme pour la teinture en noir, à la même observation ; le coton pyroxylé ne prit qu'une nuance très-pâle comparativement avec la couleur du coton non pyroxylé. Même résultat avec la teinture du coton en laine en remplaçant la garance par le bois de Brésil.

M. Kuhlmann a voulu voir s'il était possible de restituer au coton pyroxylé sa propriété de se teindre en le ramenant par la méthode de M. Béchamp à son état primitif.

Après avoir fait bouillir la pyroxyline avec du chlorure de fer et l'avoir mis à digérer avec l'acide chlorhydrique, puis lavé, on trouve que le coton dénitrifié reprend, en grande partie du moins, la propriété de recevoir les couleurs. Ces expériences sont donc concluantes ; mais elles ne prouvent pas d'une manière absolue la non-aptitude du coton auquel on assimile de l'azote à prendre les teintures. Dans ce même travail, en effet, M. Kuhlman fait voir que du pyroxyle qui, dans certaines conditions, perd une partie de son principe nitreux, devient plus apte à s'emparer des matières colorantes que le coton dans son état primitif. Ces faits nouveaux résultent des expériences suivantes exécutées sur un coton pyroxylé qui avait perdu, sous l'influence d'une décomposition spontanée, presque les 2/3 de la vapeur nitreuse qu'il contenait à l'état normal.

La teinture en garance, la teinture au bois de Brésil, se fixent par l'intermédiaire de l'alumine, non-seulement mieux que sur le coton pyroxylé, mais avec plus d'éclat et de plénitude que sur le coton non azoté, toutes choses égales d'ailleurs, dans les opérations de préparation et de teinture. L'addition au coton pyroxylé d'une certaine quantité d'un sel de protoxyde de fer détruit la stabilité de la combinaison des vapeurs nitreuses et de la cellulose, et permet de constater que, d'une manière générale, la pyroxyline, en perdant une partie de ses éléments nitreux, non-seulement perd sa résistance à se combiner avec les oxydes métalliques et les couleurs, mais devient même infiniment plus apte à se charger de ces corps que le coton non transformé.

En poursuivant l'étude de ces phénomènes, on observe des relations excessivement remarquables entre l'aptitude que la cellulose présente à la teinture et la nature des modifications qu'on lui fait subir en la mettant en contact avec l'acide nitrique ou le mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique, dans des circonstances telles que la formation de la pyroxyline soit entravée. Ainsi le bois de Brésil communique au coton non azoté préparé par l'acétate d'alumine une couleur rouge violacée. Une immersion de vingt minutes dans l'acide nitrique à 34 degrés, suivie d'un lavage à grande eau, et d'un passage dans une faible dissolution de carbonate de soude avant l'aluminage du tissu, fournit une couleur rouge beaucoup plus nourrie et beaucoup moins violacée que celle que prend le coton dans son état normal. Un effet bien sensible est produit même par l'immersion du coton pendant une demi-heure dans le même acide étendu de deux fois son volume d'eau. Dans ce dernier cas le coton n'est pas sensiblement altéré dans sa solidité.

Les résultats suivants ont une grande importance.

Lorsqu'on traite pour les teindre en bois de Brésil les préparations suivantes, après les avoir lavées à grands eau, passées dans un bain chargé de carbonate de soude, lavées encore et passées dans un bain d'acétate d'alumine, avant bonsage et lavage définitif :

N° 1. Coton sans préparation acide ;

N° 2. Coton resté cinq minutes dans un bain acide formé par le mélange de 2 volumes d'acide nitrique à 34° et 1 volume d'acide sulfurique à 66° ;

N° 3. Coton resté deux minutes dans un mélange de 1 volume d'acide nitrique à 34° et 1 volume d'acide sulfurique à 66° ;

N° 4. Coton resté vingt minutes dans un mélange de 1 volume d'acide azotique à 34° et 2 volumes d'acide sulfurique à 66° ;

N° 5. Coton resté vingt minutes dans un mélange de 1 volume d'acide azotique à 34° et 2 volumes d'acide sulfurique à 66° et 1/2 volume d'eau.

On observe que le n° 1 prend une couleur rouge pâle violacée ; le n° 2 prend une teinte rouge moins violette, mais encore assez pâle ; le n° 3 une couleur plus nourrie et plus vive ; le n° 4 une couleur rouge-ponceau, beaucoup plus foncée, assez analogue à celle qu'on obtient avec la pyroxyline décomposée ; enfin le n° 5 prend une couleur rouge foncée d'une couleur extraordinaire, la plus belle nuance obtenue dans tous ces essais.

Ainsi ces expériences prouvent d'une manière évidente qu'une immersion dans un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique donne de très-belles couleurs écarlates, et que le mélange qui convient le mieux renferme 1 volume d'acide azotique à 34°,

2 volumes d'acide sulfurique à 66° et 1/2 volume d'eau.

L'orseille et la cochenille ont été de même essayées avec la préparation d'alumine ; on a fait ces essais avec :

N° 1. Coton immergé vingt minutes dans un bain d'acide nitrique ou d'acide azotique 2 volumes, 1 volume d'acide sulfurique ;

N° 2. Coton plongé 20 minutes dans un bain de 1 volume acide nitrique et 1 volume acide sulfurique ;

N° 3. Coton plongé 20 minutes dans un bain de 1 volume d'acide nitrique et 2 volumes d'acide sulfurique.

On observe : 1° pour les essais faits au moyen de la cochenille, avec le n° 1, une teinte giroflée pâle peu différente de celle obtenue avec le coton sans préparation ; pour le n° 2 une teinte beaucoup plus foncée, et pour le n° 3 une coloration au moins double de celle de l'essai précédent.

On observe, pour les essais faits au moyen de l'orseille, des colorations violettes dont l'intensité se trouve en rapport avec les résultats fournis par la cochenille.

Lorsqu'on se sert de garancine, comme matière tinctoriale, un bain d'acide nitrique seul donne sur coton une nuance un peu plus jaune, mais égale en plénitude à celle qu'on obtient sur le coton qui n'a pas reçu d'immersion dans l'acide; 2 volumes d'acide azotique et 1 volume d'acide sulfurique donnent la même nuance, mais plus foncée; 1 volume d'acide azotique et 1 volume d'acide sulfurique fournissent une nuance très-foncée, qui rappelle celle du rouge d'Andrinople avant l'avivage ; 2 volumes d'acide azotique et 2 volumes d'acide sulfurique fournissent une coloration très-foncée, légèrement jaunâtre. Enfin, 1 volume d'acide azotique, 2 volumes d'acide sulfurique, 1/2 volume d'eau donnent une couleur rouge très-vive et beaucoup plus foncée que les précédentes.

La laine, la soie, les plumes, les crins, traités, comme le coton, par les acides que nous venons d'indiquer, offrent la même aptitude à se teindre par la garancine, l'orseille, la cochenille, la décoction de Brésil, et les avantages qu'on retire de l'action des acides, au point de vue de la richesse et de l'intensité de la nuance, sont des plus remarquables. L'acide nitrique étendu de cinq fois son volume d'eau fournit déjà des avantages très-marqués.

Malheureusement, au point de vue pratique, les fils et les tissus sont profondément altérés par ces immersions acides ; ces observations ne sauraient donc être, au moins quant à présent, utilisées dans l'industrie. Il n'y a d'espoir d'en tirer parti qu'autant que la matière colorante peut appartenir au groupe des substances qui se forment et s'appliquent au moyen de l'acide nitrique. L'acide picrique, par exemple, qui ne se fixe pas sur le coton, même par l'intervention de l'alumine, donne des nuances très-nourries, lorsque le coton est traité par le bain acide. L'acide agit alors comme matière colorante et comme intermédiaire ; il sert à produire des nuances composées, soit en donnant des bains d'acide picrique, soit en le mêlant aux autres couleurs, après les préparations métalliques qui servent à fixer la matière tinctoriale. Ces couleurs composées, très-vives et très-éclatantes, sont plus particulièrement applicables à la teinture sur laine et sur soie ; dans la teinture sur coton, l'acide nitrique fixé altère à la longue la couleur, et la fait virer au jaune. Dans tous les cas, les composés nitrés auraient des inconvénients dans la pratique, par suite de la grande combustibilité que possèdent les tissus, lorsqu'ils ont été traités par l'acide nitro-sulfurique.

Les expériences qui précèdent, et sur lesquelles nous avons cru devoir insister parce qu'elles sont nouvelles et parce qu'elles pèsent d'un grand poids dans la question qui nous occupe, semblent donc conduire à des résultats qui peuvent réduire à peu de chose l'influence de la contexture des fibres dans les opérations de la teinture.

M. Kuhlmann formule lui-même son opinion de la manière suivante :

« Si l'on ne peut faire dépendre la fixation des couleurs d'un principe à application constante, celui par exemple qui reposerait uniquement sur la composition de la matière à teindre; si, comme le démontre M. Chevreul, cette aptitude procède souvent aussi des propriétés particulières de la matière colorante elle-même, se fixant mieux sur telle ou telle étoffe, on peut établir dès aujourd'hui, que la composition chimique du corps à teindre a la plus grande influence sur cette fixation, que les teintures sont de véritables combinaisons chimiques, et que les effets dus à la capillarité et à la structure particulière de la matière filamenteuse ne sont que secondaires. »

Ces expériences me paraissent démontrer, d'une manière évidente, que l'adhérence ou la fixation des couleurs dépend, en grande partie du moins, d'une action chimique entre les matières colorantes et les étoffes dans leur état naturel, ou ces étoffes diversement modifiées, soit par leur combinaison avec d'autres corps, soit par un arrangement moléculaire particulier de leurs principes constitutifs. Elles me semblent prouver plus que les arguments de M. Persoz, qui sépare l'action chimique proprement dite de l'action d'adhérence, cette dernière n'étant produite que par juxtaposition.

On peut, du reste, prouver que, dans le cas de l'intervention de l'acide nitrique, cet acide n'agit pas comme corps se mettant en liberté, pendant l'opération de la teinture. En effet, les tissus nitrés à différents degrés ne perdent pas après la teinture leur grande combustibilité, pas plus sous ce rapport que la pyroxyline elle-même. D'ailleurs, d'une part, les étoffes pyroxylées ne prennent pas plus de coloration dans les bains à réaction acide que dans les bains à réaction alcaline; d'autre part, la pyroxyline, spontanément décomposée, attire bien plus énergiquement que le coton naturel les couleurs quelles qu'elles soient, dans l'une comme dans l'autre circonstance.

Peut-on attribuer à de simples modifications moléculaires les modifications remarquées sous l'influence des intermédiaires, dans l'aptitude des fils et tissus à fixer les matières colorantes et former avec elles de véritables combinaisons chimiques? M. Mercer a fait voir, il y a quelques années, que les tissus de coton donnaient dans l'impression et la teinture des couleurs beaucoup plus nourries, lorsqu'on les plongeait dans une dissolution concentrée de soude caustique, avant toute application de sel métallique. On n'a voulu voir dans ce fait qu'un seul rapprochement des fibres dont l'étoffe est composée ; mais il est plus vraisemblable d'admettre une action chimique dont l'existence n'est pas liée d'une manière absolue à la présence des alcalis caustiques, potasse ou soude. L'altération des tissus de coton par le chlore, par l'acide chlorhydrique et par l'acide fluorhydrique, ne modifie en rien l'aptitude à fixer les matières colorantes. Au contraire, les acides phosphorique et sulfurique concentrés agissent d'une manière très-efficace pour ajouter à la plénitude et à l'éclat de la teinture. Sous l'influence de ces acides, la cellulose, comme nous l'avons dit, se modifie; elle prend un aspect translucide, par suite d'une transformation moléculaire qui concourt à la production d'une certaine quantité de dextrine et de glucose. La composition de la cellulose ne subissant même aucune altération, n'est-on pas en droit de croire aux changements possibles dans les aptitudes relatives à la teinture présentées par deux substances isomères? Cette dernière manière d'interpréter les faits dans ces

conditions est formulée par M. Kuhlmann, dans son travail (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIII, p. 900 et 953). « Un arrangement moléculaire nouveau peut conduire à des combinaisons chimiques nouvelles; et le résultat d'une plus grande intensité de couleur dans la teinture, sans être expliqué par l'état purement physique de la matière, par une espèce de contraction des fibres du coton ou du lin, doit être attribué de préférence à des combinaisons chimiques différentes.

« La teinture repose essentiellement sur une combinaison chimique entre la matière colorante et la matière textile naturelle ou diversement combinée ou modifiée; l'état physique de cette matière n'intervient dans le phénomène que d'une manière accessoire.

« Il est, d'ailleurs, difficile de distinguer ce qui appartient à l'affinité chimique proprement dite de ce qui est le résultat de la cohésion; ce qui, dans la teinture du charbon, par exemple, procède des propriétés chimiques de ce corps de ce qui est le résultat de sa porosité.

« Dans la plupart des cas, les deux actions réunies concourent au même but et se confondent en quelque sorte. »

On le voit ici : la définition de la teinture, telle que nous l'avons donnée d'après M. Chevreul, conduit forcément à reconnaître un ensemble de phénomènes complexes, et M. Kuhlmann, partisan éclairé de l'action chimique, fait néanmoins la part de l'action mécanique. Là, en effet, est la vérité. Tous les auteurs qui se sont occupés dans ces derniers temps de la théorie de la teinture sont d'accord sur ce point, et s'ils semblent différer d'opinion, c'est sur la part afférente à chaque action dans l'ensemble du phénomène; c'est plus, au fond, à cause des termes par lesquels ils représentent l'action que par le principe de l'action elle-même.

Depuis les travaux de M. Kuhlmann, M. Verdeil a réuni de nombreux éléments pour approfondir encore la question. Ce travail important est nouveau, et pour ne pas le tronquer je reproduis ici l'extrait que l'auteur en a donné lui-même dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVII, p. 964. Il a pour base des observations qui sont personnelles à l'auteur.

« Si l'on examine au microscope des fibres isolées de ligneux, de soie ou de laine qui ont été colorées par les procédés ordinaires de la teinture, on reconnaît que la substance de la fibre est teintée par pénétration du principe colorant : la fibre est uniformément colorée, transparente; on n'aperçoit aucune particule colorante insoluble à sa surface, elle est homogène, privée de pores et de canaux. Il faut excepter toutefois les étoffes colorées par le chromate de plomb ou par l'oxyde de chrome qui sont teintes en partie par le dépôt du principe colorant à la surface de la fibre et en partie par pénétration. Dans quelques cas exceptionnels, la soie teinte en noir est colorée par une sorte d'incrustation peu adhérente à la fibre. Cette enveloppe se brise et laisse voir la fibre teinte également par pénétration. En dehors de ces cas particuliers, les fibres textiles teintes sont constamment colorées par pénétration du principe colorant et par son union intime sur la substance même de la fibre.

« Les procédés employés dans la pratique pour colorer les étoffes varient suivant la nature des tissus. En effet, tandis que les fibres d'origine animale, laine et soie, s'emparent des principes colorants en dissolution dans un bain de teinture dans lequel entre un sel métallique faisant l'office de *mordant* [1], le ligneux, au contraire, placé dans les mêmes conditions, ne fixera pas trace de couleur.

« Pour que du coton, du fil ou du chanvre puisse se colorer de manière à ce que ni les lavages à l'eau ni le frottement n'enlèvent la couleur, il faut de toute nécessité que le principe colorant soit rendu insoluble lorsqu'il a pénétré la substance de la fibre. La laine et la soie semblent, au contraire, posséder une véritable affinité pour les principes colorants mélangés avec des mordants.

« Dans le but d'expliquer ces phénomènes de coloration, j'ai étudié l'action des sels d'alumine, de fer, d'étain, employés comme mordants sur les étoffes de laine et de soie. J'ai constaté que ces substances d'origine animale possédaient la propriété de fixer une certaine quantité de la base du mordant avec lequel on les mettait en contact. »

Cette propriété est commune à toutes les substances azotées, albumine, musculine, etc., qui constituent les tissus du corps des animaux.

Par l'incinération de l'étoffe de laine ou de soie mordancée, on retrouve dans les cendres, soit le fer, soit l'alumine, soit l'étain, à l'état d'oxyde.

« La quantité de la base ainsi fixée est très-faible; elle suffit cependant pour déterminer dans l'étoffe et dans l'albumine une coloration intense au contact d'un principe colorant en dissolution avec lequel l'oxyde se combine.

« M. Chevreul a démontré déjà que la soie se charge d'oxyde de fer par son contact avec une dissolution de sulfate de fer. M. Chevreul a observé, en outre, que de la laine et de la soie, par leur contact prolongé avec du peroxyde de fer hydraté, fixaient de l'oxyde de fer, tandis que le coton n'en fixait pas trace.

« Les chiffres suivants indiquent la proportion de cendres que j'ai obtenue par l'incinération des étoffes mordancées :

	En 100 parties.	
Laine mordancée par l'alun.	0,75	cendres.
id. id. id.	0,72	id.
id. le sulfate d'alumine.	0,86	id.
id. l'alun et le tartre.	1,12	id.
id. l'acétate de fer.	0,75	id.
id. le deutochlorure d'étain. . . .	1,25	id.
Soie mordancée par l'acétate d'alumine.	0,50	
Soie mordancée par l'acétate de fer. .	1,00	cendres.
id. id. l'alun	0,40	id.
Albumine		
coagulée en présence de l'alun . .	1,30	id.
id. du sulfate d'alumine. .	3,00	id.
Caséine en contact avec l'alun. . . .	2,66	id.

Le ligneux placé dans les mêmes conditions ne fixe pas trace de la base du mordant.

Le produit de l'incinération, dont les proportions sont indiquées plus haut, est presque complétement formé par l'oxyde du mordant. Les cendres de la laine mordancée à l'alun renferment 80 p. 100 d'alumine.

« La faible proportion d'oxyde fixé par les étoffes de laine et de soie mordancées ne semble pas en rapport avec l'intensité de coloration qu'elles acquièrent par leur contact avec un principe colorant formant une combinaison avec l'oxyde qu'elles ont fixé. Aussi est-ce dans la constitution physique de la fibre qu'il faut chercher la cause du degré de coloration qu'elles peuvent acquérir par la teinture.

« Les fibres de la laine et de la soie sont très-transparentes; les corps colorés transparents n'exigeant qu'une très-faible proportion de principes colorants pour paraître d'une couleur foncée vus par réflexion. L'expérience que je vais décrire prouve bien que c'est en vertu de ce principe que les étoffes teintes de laine

[1] Nous conservons ici ce mot, mais comme terme d'atelier. Nous reviendrons bientôt sur la signification de cette expression. Nous n'avons pas voulu changer le texte de l'extrait rédigé par M. Verdeil. A. S.

et de soie possèdent cette coloration intense qui les caractérise.

« De l'albumine coagulée par la chaleur dans de l'eau renfermant du deutochlorure d'étain est colorée ensuite au contact d'une dissolution de cochenille. L'albumine se teint comme une étoffe mordancée ; par la dessiccation, la masse acquiert une teinte grenat foncé. Si l'on broie la masse, la couleur change ; elle devient rouge clair. En continuant de broyer, on obtient une couleur de plus en plus claire, qui arrive au rose. Examinées au microscope, à leurs divers états de division, les particules n'ont subi d'autre modification qu'une diminution de volume. Elles restent toujours transparentes. Ce phénomène ne se produit pas dans un corps coloré opaque dont la couleur ne se modifie pas en suite d'un broiement, même prolongé. »

Cet effet de la transparence dans les corps colorés explique la coloration des tissus qui composent le corps des animaux ; cette coloration déterminée par des quantités très-faibles de sang est due, sans nul doute, à la transparence des chairs.

La transparence des tissus qui composent les pétales des fleurs occasionne également cette intensité de coloration, que la faible proportion de principes colorants qu'elles renferment ne pourrait déterminer dans un corps opaque.

Pour résumer les résultats auxquels l'auteur se trouve conduit, il pose lui-même les conclusions suivantes :

« 1° Les fibres qui composent les étoffes teintes, qu'elles soient d'origine végétale ou d'origine animale, sont colorées uniformément dans leur substance même ;

« 2° Les fibres de la laine et de la soie ont la propriété de fixer directement une certaine proportion de la base des sels métalliques employés comme mordants ;

« 3° La proportion de base fixée par l'étoffe mordancée et par conséquent la proportion du principe colorant retenu par l'étoffe teinte est très-faible. La transparence de la fibre et son diamètre ont une action sensible sur le degré de coloration qu'elle peut acquérir. »

On peut remarquer que M. Verdeil admet qu'il n'y a pas de ligne de démarcation bien nette entre les causes physique, chimique, mécanique auxquelles on peut attribuer les phénomènes de teinture.

Les réflexions que nous avons présentées au sujet des différents mémoires que nous venons d'analyser nous dispensent d'insister davantage et nous conduisent à regarder comme essentiellement complexes les phénomènes dont le teinturier doit s'occuper. Nous y reviendrons d'ailleurs en parlant des intermédiaires connus dans les ateliers sous le nom de mordants ; nous y reviendrons encore en parlant de la solidité des diverses teintes que le teinturier doit savoir produire.

Bornons-nous à rappeler que les phénomènes de teinture sont le résultat d'effets multiples et qu'il faut représenter l'adhérence de la couleur à la fibre :

1° Par pénétration, par voie de capillarité ;

2° Par juxtaposition, par voie de contact et de cohésion :

3° Par combinaison, par voie d'affinité chimique.

Dans tous les cas, la transparence de la fibre n'est pas sans jouer un rôle dans le degré de la coloration.

§ VI. Des préparations générales

auxquelles on soumet les fibres en vue des opérations de la teinture.

Mordants. — Nous avons vu que parmi les matières colorantes les unes s'unissaient directement aux laines, aux fils, aux tissus qu'elles pouvaient teindre immédiatement, que d'autres au contraire n'étaient capables de prendre d'adhérence aux fibres textiles qu'autant qu'on faisait usage de certaines matières auxiliaires, comme quelques oxydes, certains corps gras qu'on nomme *mordants* et qui fonctionnent comme intermédiaires.

Jusqu'à ce jour on a donné le nom de mordant à toute substance qui jouit de la double propriété de s'unir d'une part aux tissus, d'autre part aux matières colorantes. Si nous posons ici comme principe, que nous développerons plus loin, que les substances colorables ou colorées se combinent aux oxydes métalliques pour former des composés insolubles, il semblerait que tous les composés oxydés pourraient remplir le rôle de mordants et devenir par conséquent la base des principes colorés plus ou moins adhérents aux tissus. Il n'en est cependant pas ainsi ; nous ne pouvons, en effet, citer que quelques oxydes qui jouissent de cette faculté parmi les substances d'origine minérale. Quant aux corps d'origine organique, nous ne trouvons que quelques corps gras modifiés et quelques principes organisés.

Parmi les oxydes métalliques, ceux qui possèdent au plus haut degré la propriété de rendre adhérentes les couleurs, matières colorables ou matières colorées, nous ferons remarquer que les plus énergiques, l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome sont isomorphes, qu'ils ont le même volume pour leur équivalent, qu'ils passent de l'état soluble dans les acides à l'état d'oxydes insolubles avec dégagement de chaleur, etc.

C'est ici le lieu de bien définir le terme de mordant en usage dans les ateliers. Emprunté sans aucun doute à l'industrie décorative, si la préparation dans laquelle on plonge l'étoffe à teindre n'avait d'autre effet que de fixer la couleur comme la fait le mordant, par exemple, dans la dorure sur bois, ce terme pourrait être entendu sans commentaire ; mais les phénomènes de la teinture sont loin d'être aussi simples, et nous ne pouvons admettre le mot mordant que comme terme d'atelier abréviatif au même titre que le mot degré centésimal quand il s'agit de définir une température. Nous avons dit qu'il est impossible de ne pas considérer l'étoffe teinte comme une agglomération de molécules composées dans laquelle on doit faire intervenir souvent avec modification chimique la fibre elle-même, le mordant proprement dit et la matière colorante. Si donc nous adoptons le terme de mordant, c'est avec la restriction que nous lui donnons ici et seulement pour représenter un effet, sans prétendre en aucune façon en expliquer la cause. Le *mordant* ne rend pas la couleur adhérente toujours de la même manière ; il n'agit pas non plus toujours d'une même façon identique ; dans certains cas il ne fait éprouver à l'étoffe que des changements de nuances qui tiennent à la nature des réactions acides ou basiques en présence desquelles ont lieu les phénomènes de teinture ; les modifications peuvent encore dépendre du volume des sels métalliques employés ; quelques exemples fixeront les idées : dans un bain de cochenille une étoffe préparée par l'alumine prendra une nuance lilas, tandis qu'une étoffe préparée par l'oxyde de plomb se colore en rouge. L'hydrate d'étain et l'hydrate d'alumine passés dans un bain de cochenille donnent des rouges différents, tirant au violet dans le premier cas, tirant sur le jaune dans le second cas. Ces exemples démontrent l'importance sur la nuance de la combinaison chimique qui prend naissance. L'action peut être encore beaucoup plus compliquée. Les préparations ferrugineuses font subir au composé coloré des altérations préalables ; il est remarquable que la garance donne avec les sels de fer une couleur très-foncée ; on prépare de la sorte des violets intenses qui sont presque noirs.

Dans les opérations de la teinture, la préparation dont on charge les étoffes et les tissus a la plus grande

influence sur les résultats de l'opération. Nous insisterons donc ici sur un grand nombre de points, et, nous plaçant au point de vue le plus général, nous considérerons les mordants dans leur rôle, pour obtenir non-seulement les teintes unies, mais aussi les impressions en couleurs. L'impression sur étoffe fait usage, en effet, des opérations de la teinture proprement dite, pour produire une grande variété de dessins, par la méthode des réserves ou des enlevages appliqués par voie d'impression. Il convient ici de remarquer que l'impression n'a d'autre but que d'apposer rapidement et mécaniquement les dessins qui ne pourraient être déposés à la main qu'avec une grande lenteur et beaucoup de dépenses. Les faits mécaniques ont été traités à l'article IMPRESSION; nous ne saurions établir de distinction entre les phénomènes chimiques qui se passent dans une teinture unie et dans la teinture imprimée.

Nous devons avant tout considérer le rôle chimique que la préparation doit jouer après son adhérence à l'étoffe. Supposons donc qu'au lieu de poser de l'hydrate d'alumine sur un tissu donné, nous ayons appliqué de l'alumine calcinée. L'expérience, d'après ce que nous connaissons des propriétés de l'alumine, prouve que le dépôt n'est pas capable de se colorer. Si, d'autre part, après avoir appliqué l'alumine hydratée, on la dessèche lentement ou rapidement, on trouve dans les tissus préparés des propensions bien différentes à se laisser teindre en garance, par exemple. Dans un cas, la coloration sera brillante et colorée; dans l'autre, la nuance sera faible et terne. Il y a donc, indépendamment de la nature chimique de la préparation, des circonstances spéciales qui correspondent à des états physiques particuliers indispensables au succès de l'opération, et sur lesquelles il convient de porter notre attention; nous allons le faire, en nous occupant des diverses préparations métalliques ou organiques qu'on fait subir aux fils comme aux tissus, pour les rendre propres à la teinture.

Préparations aluminées.

L'aluminage d'une matière textile s'opère avec des matières qui contiennent de l'alumine, et dans lesquelles cette alumine joue des rôles bien différents, tantôt acide, tantôt basique.

Préparations dans lesquelles l'alumine joue le rôle de base. — Les sels d'alumine sont très-nombreux; mais ils ne sauraient tous être employés au même titre : les uns, insolubles, se détacheraient au moindre choc, au moindre frottement; les autres, solubles, ne possèdent pas au même degré la propriété de céder aux tissus de l'alumine hydratée, conservant une énergie chimique suffisante pour se combiner à la matière colorante.

On remarque parmi les sels alumineux solubles trois sortes différentes, dont l'action se résume de la manière suivante :

Les uns sont basiques ou peuvent le devenir, en abandonnant une portion de leur acide; ils n'ont besoin, pour céder aux tissus une partie de leur base, que du simple contact avec l'étoffe : ce sont l'acétate d'alumine, l'alun cubique, l'oxalate, le butyrate, le formiate et l'hyposulfite d'alumine;

Les autres sont acides ou neutres; dans quelques-uns, l'alumine se dépose avec ses propriétés caractéristiques, lorsqu'on sature l'acide par une base, ou dès qu'on opère par une double décomposition la formation d'un sel basique analogue à ceux dont nous avons parlé tout à l'heure; de ce nombre, sont le sulfate, le séléniate, le chlorate, le bromate, le nitrate, le chlorure et l'alun octaédrique;

Enfin, quelques sels d'alumine sont remarquables par le rôle de la base qui semble y être *masquée*; elle ne se dépose pas sur les tissus avec l'adhérence nécessaire à la teinture. A ce dernier ordre appartiennent le tartrate, le citrate et le malate d'alumine.

Les deux premiers groupes de sels alumineux conviennent très-bien pour l'aluminage des tissus; on agit soit directement, soit indirectement; dans un cas, le tissu s'empare de l'alumine, sans autre intermédiaire que le jeu de l'affinité de la fibre pour l'alumine; dans l'autre, au contraire, il faut faire intervenir un sel convenablement choisi, pour précipiter la base, tantôt en totalité, tantôt en partie seulement.

Tous les sels que nous venons de nommer offrent dans la pratique des avantages et des inconvénients sur lesquels il est bon d'être fixé. Il convient de les passer en revue.

Le nitrate d'alumine et le chlorure d'aluminium agissent surtout lorsqu'on met en liberté l'alumine par un passage dans un bain alcalin; cependant le chlorure se décompose spontanément au contact de la fibre; on ne peut néanmoins en faire usage qu'autant qu'on ne teint pas le coton, le lin et le chanvre; car s'il n'attaque pas la soie par l'acide chlorhydrique qui se trouve mis en liberté, les fibres d'origine végétale sont attaquées sensiblement; c'est surtout dans l'impression que cette action est à redouter.

L'oxalate d'alumine ne cède pas toujours sa base. Au moment de sa préparation, il est privé de cette propriété; c'est à ce point même, que l'acide oxalique peut être employé dans certains cas, pour enlever aux tissus l'alumine déposée, lorsqu'on veut obtenir une réserve blanche par voie d'*enlevage sur mordant*. Mais par suite d'un contact prolongé ou par l'exposition à la température de 100°, l'oxalate subit une métamorphose qui le transforme et le rend apte à céder de l'alumine aux tissus sur lesquels on l'appose.

Le plus répandu des sels auxquels on emprunte l'alumine est l'alun; l'usage de cette matière, qui ne donne une bonne préparation que lorsqu'elle renferme un excès de base, ne s'est répandu depuis l'époque la plus reculée que parce que le sel naturel est précisément dans ce cas : au reste, on rend l'alun ordinaire aussi convenable pour cet usage que l'alun naturel, en ajoutant un peu de natron ou de carbonate de soude. On peut même en mettre assez, pour précipiter un excès d'alumine, à la condition de redissoudre le précipité d'abord formé par une addition de vinaigre. C'est ce que l'industrie a pratiqué pendant fort longtemps. L'intervention de l'acétate de plomb paraît tout européenne; mais il est impossible de préciser la date de cette innovation et de dire qui le mit en pratique pour la première fois.

Les mordants d'alumine sont très en usage dans l'impression; on leur fait alors surtout quelques additions. Dans l'origine, on ajoutait à l'acétate de plomb de l'acétate de cuivre, du sel marin, de l'acide arsénieux, du sulfure d'arsenic, de la craie, du sel ammoniac; l'état d'ignorance dans lequel étaient ceux qui s'occupaient de teinture avait sans doute fait introduire, dans les mélanges destinés à l'aluminage des étoffes, des substances inertes; mais on ne saurait refuser à certaines d'entre elles plusieurs avantages, soit pour prévenir l'adhérence de l'oxyde de fer dont la présence devait nuire à la pureté des nuances de la garance, soit pour maintenir l'étoffe, avant la teinture, dans un état d'humidité nécessaire pour conserver de l'alumine déposée dans de bonnes conditions.

Maintenant on se sert exclusivement d'alun octaédrique; et si dans certains cas ce sel, en se fixant sur l'étoffe qu'on met en présence de l'eau chaude, en contact avec une matière colorante, forme un sous-sel d'alumine et de principe colorant, il peut se faire aussi que l'alun subisse une décomposition plus avancée, ne laissant adhérente à l'étoffe qu'une combinaison d'alumine et de principe colorant. Cet effet a toujours

lieu, lorsqu'on passe une étoffe alunée ou colorée dans une eau légèrement alcaline. On obtient donc constamment une bonne préparation, en partant de l'alun, lorsqu'on sature, par une quantité convenable d'acétate de plomb, de chaux, de baryte, de strontiane, une partie de la base : on obtient de la sorte, par une double décomposition, des sulfates plus ou moins insolubles et de l'acétate d'alumine en quantité proportionnelle. On peut faire usage encore d'acétate de potasse, d'ammoniaque, de soude, qui ne font naître aucun trouble dans la liqueur, ou des carbonates d'ammoniaque, de potasse et de soude, à la condition de ne les ajouter qu'en proportion convenable, pour opérer la transformation de l'alun octaédrique en alun cubique.

Nous pouvons réduire à trois les principaux composés dont on se sert pour aluminer les tissus. Les voici :

Alun.	40k,00 —	27k,00 —	20k,25
Cristaux de soude.	4 ,00 —	2 ,70 —	2 ,28
Acétate de plomb.	40 ,00 —	20, 20 —	13 ,50

On commence par introduire dans un baquet l'alun finement pulvérisé ; on y verse la quantité d'eau chaude nécessaire pour opérer la dissolution ; on ajoute à la liqueur le carbonate de soude, puis enfin on verse l'acétate de plomb. L'effet se produit instantanément ; on obtient du sulfate de plomb qui se précipite immédiatement ; on agite, puis on attend le refroidissement. Il n'est pas indifférent d'ajouter le carbonate de soude avant ou après la précipitation ; dans le premier cas, il sature l'alun, en formant de l'alun cubique ; dans le second cas, il se porte sur l'acide acétique et forme des acétates de potasse et de soude. Une telle préparation est basique, et plus ou moins déliquescente.

Lorsque le dépôt s'est effectué lentement, on décante la partie claire qu'on conserve séparément dans des vases de verre ou de grès. Les eaux de lavage des dépôts servent à faire des *mordants faibles* ou d'autres préparations des mêmes mordants.

On n'est pas obligé de séparer les dépôts de sulfate, lorsqu'on doit épaissir la préparation. Comme le sulfate de plomb ne prend d'adhérence avec la fibre textile que lorsque les tissus qui l'ont reçu sont plongés dans une eau de chaux, sa présence n'a pas d'inconvénient ; il devient alors un puissant élément d'économie, puisqu'il permet de réduire la proportion de l'épaississant (gomme, fécule ou amidon).

On pourrait avoir une seule préparation qui servirait de base aux compositions faibles ou fortes, dont on peut avoir besoin dans des circonstances données. Jusqu'à présent, les fabricants préfèrent en avoir plusieurs qui diffèrent par leur densité, c'est-à-dire par les proportions d'alun et d'acétate de plomb employés pour les obtenir. L'usage n'est pas d'ailleurs ici basé seulement sur la routine. Dans le cas des impressions, il n'y a que peu de cas où l'on ait besoin d'une préparation plus forte que les préparations d'une densité moyenne, et d'autre part, les sels chargés d'acétate d'alumine se décomposent spontanément à la longue, en abandonnant du sous-acétate d'alumine en proportions variables, ce qui jette la perturbation dans les dosages primitifs.

On commence à faire usage aujourd'hui, d'une manière à peu près générale, du sulfate d'alumine pour les compositions propres à l'aluminage des tissus, et surtout pour préparer les *mordants rouges*. Ce sel se prépare en grand pour les besoins de l'industrie. La composition moyenne des bonnes livraisons de M. Pommier, de Paris, quai de Jemmapes, contient :

Eau.	52	—	théoriquement.
Alumine.	14	100	100
Acide sulfurique. .	34	236	234,4

Pour préparer le mordant rouge, en partant de ce sel, on prend 110 parties d'une dissolution de sulfate d'alumine marquant 30° Baumé, si l'on opère à chaud, 33° si l'on opère à froid ; on y ajoute 100 parties d'acétate de plomb dissous dans 30 parties d'eau ; on obtient alors une dissolution très-concentrée d'acétate d'alumine, marquant 15 à 16° Baumé.

Dans quelques fabriques, on remplace l'acétate de plomb par le pyrolignite de même métal. Mais on peut substituer à ces deux sels les acétates de baryte, de chaux et de strontiane, de soude, de potasse et d'ammoniaque ; jusqu'à ce jour, on n'a tiré parti que de l'acétate de chaux ; la réaction qui donne naissance à l'acétate d'alumine est la même dans les deux cas, et cette dernière méthode est éminemment économique. L'oxyde de plomb qui entre dans la composition du sel employé représente plus des 2/3 de la valeur du produit. Il est à peu près complétement perdu, puisqu'on se sert actuellement du sulfate de plomb, seulement comme produit accessoire, pour frelater les chromates de plomb et la céruse. L'emploi des acétates de chaux offrirait encore cet avantage dans l'impression sur étoffe, qu'il laisserait un résidu de sulfate de chaux, qu'on n'éloignerait pas, et qui pourrait permettre un épaississage économique.

M. Kœchlin a proposé depuis longtemps un mordant qu'il est regrettable de ne pas voir employer plus généralement. On neutralise une dissolution d'alun par le carbonate de potasse, jusqu'à ce que les flocons refusent de se dissoudre par une nouvelle agitation ; on porte à l'ébullition la dissolution saturée, pour former le sulfate alumineux basique qu'on recueille et qu'on traite par l'acide acétique, qui le dissout très-bien. On obtient de la sorte une composition alumineuse des plus simples et des plus fidèles. Si, dans la fabrication de ce mordant sur une petite échelle, on perd le sulfate de potasse et une partie de l'alun qui s'échappe avec les eaux mères, cet inconvénient n'existe pas dans une préparation en grand, puisqu'on retrouverait dans la fabrication de l'alun tous les éléments qui ont une certaine valeur.

Lorsque le commerce pourra fournir de l'hydrate d'alumine d'une composition constante et facilement soluble dans l'acide acétique, on l'utilisera pour produire directement l'acétate d'alumine, que l'expérience classe tous les jours parmi les meilleurs mordants. Les qualités spéciales de l'acide acétique rendent très-propres aux préparations des tissus les acétates métalliques. Mais quand on fait usage d'acétate d'alumine dans le mordançage, il est convenable de bien faire observer que ce sel demande à ne pas être conservé. Si l'on dissout de l'alumine gélatineuse dans de l'acide acétique, de manière à obtenir une liqueur qui marque 8 à 9° à l'aréomètre de Baumé, et qu'on conserve cette dissolution dans des flacons bien bouchés, on s'aperçoit, au bout de plusieurs jours, qu'il s'est fait un précipité blanc, plus ou moins cristallin, renfermant toute l'alumine, tandis que la liqueur est devenue fortement acide ; Gay-Lussac avait déjà remarqué que les dissolutions d'acétate d'alumine, qui renferment du sulfate de soude ou de potasse, se troublent par la chaleur, mais reprennent leur limpidité en refroidissant. M. Tissier a vu que, même dans le cas de sel d'alumine parfaitement pur, il y a dépôt, et que ce dépôt est formé par un sous-acétate d'alumine, qui ne contient que deux équivalents d'acide acétique.

La décomposition toute spontanée, qui fait que l'alumine dissoute dans l'acide acétique passe lentement à l'état de combinaison soluble, sans qu'il soit nécessaire pour cela de la moindre élévation de température, conduit à l'explication de bien des accidents qui se produisent avec ce composé, dans le mordançage des tissus, lorsqu'on a conservé ce sel pendant plus

ou moins de temps. Au reste, la décomposition est sans contredit singulièrement activée par la présence de la fibre elle-même, qui tend à s'emparer de l'alumine, pour la fixer elle-même. M. Persoz s'étend longuement sur cette décomposition ; elle est mise hors de doute par ses expériences.

M. Kopp a découvert dans les hyposulfites des propriétés semblables à celles que nous venons de distinguer dans l'acétate d'alumine ; aussi cette circonstance permettra-t-elle de substituer dans bien des cas ces derniers sels aux acétates dans la préparation des mordants. En effet, de même que les acétates, les hyposulfites sont généralement solubles dans l'eau ; leur acide est extrêmement faible et ne peut même pas exister à l'état libre, puisqu'il se dédouble immédiatement en acide sulfureux et en soufre, qui tous deux sont sans action corrosive sur la fibre végétale et animale ; enfin les hyposulfites à base de sesquioxydes sont généralement décomposés et les bases mises en liberté par la simple dessiccation.

Les hyposulfites de chaux et de soude sont les sels au moyen desquels se préparent ces nouveaux mordants. L'hyposulfite de chaux s'obtient très-économiquement en faisant réagir dans un appareil barboteur l'acide sulfureux provenant de la combustion du soufre ou des pyrites sur du sulfure ou de l'oxysulfure de calcium. La solution, évaporée avec précaution et à une douce chaleur, fournit des cristaux d'hyposulfite de chaux contenant 6 équivalents d'eau. La solution d'hyposulfite de chaux, décomposée par le carbonate ou le sulfate de soude, donne, par la concentration, des cristaux d'hyposulfite de soude contenant 5 équivalents d'eau.

En ajoutant à des solutions de sulfate d'alumine ou d'alun les hyposulfites de soude ou de chaux, on obtient de l'hyposulfite d'alumine. C'est une liqueur claire, limpide, qui ne s'altère que lentement au contact de l'air. Bouillie ou évaporée à siccité, elle dégage de l'acide sulfureux et donne un résidu d'alumine, de sous-sulfate d'alumine et de soufre.

Pour préparer une toile en alumine, on n'a donc qu'à l'imprégner de solution d'hyposulfite d'alumine et à la faire sécher. Toute l'alumine se trouve fixée. Le dégagement d'acide sulfureux, qui pour les toiles de coton est, à la vérité, un inconvénient assez grave, pourrait au contraire devenir avantageux lorsqu'il s'agit de tissus de laine ou de soie. L'hyposulfite d'alumine présente cette circonstance favorable, qu'il empêche jusqu'à un certain point la fixation du fer que peuvent contenir l'alun ou le sulfate d'alumine, surtout si l'on ne prolonge pas trop le séchage après l'application du sel ; cela provient de ce que le fer ne peut se fixer sur la fibre textile qu'à l'état d'oxyde ou de sous-sel ferrique et de ce que l'hyposulfite ferrique n'existe pas. Dès qu'un sel ferrique se trouve en présence d'un hyposulfite, le sel ferrique est réduit à l'état de sel ferreux, et il en résulte évidemment qu'aucune parcelle de fer ne peut se fixer sur le tissu, tant qu'il existe encore dans la dissolution la moindre quantité d'hyposulfite d'alumine non décomposée. Ce n'est qu'après que l'alumine s'est complétement fixée, après que l'acide hyposulfureux libre a disparu en se décomposant, que le fer pourrait s'oxyder à son tour et se combiner à la matière textile.

Si l'on veut préparer un mordant d'hyposulfite d'alumine épaissi à l'amidon ou à la farine, il faut commencer par préparer de l'hydrochlorate d'alumine sirupeux en décomposant du sulfate d'alumine ou de l'alun par du chlorure de calcium basique, filtrant et évaporant fortement la liqueur. Par le refroidissement, celle-ci laisse cristalliser du sel ammoniac ou du chlorure de potassium, et les eaux mères, renfermant surtout de l'hydrochlorate d'alumine, sont ensuite évaporées de nouveau à une température voisine de 100°, jusqu'à ce qu'elles se recouvrent d'une pellicule assez consistante.

C'est cette matière qu'on incorpore à froid dans de l'empois d'amidon ou de farine ; ensuite, à la couleur épaisse on ajoute une quantité d'hyposulfite de soude telle que les 2/3 ou les 3/4 de l'hydrochlorate d'alumine soient transformés en hyposulfite d'alumine.

Préparations dans lesquelles l'alumine joue le rôle d'acide. — Dans un certain nombre de préparations alumineuses, l'alumine fait fonction d'acide. M. Haussmann, et bien longtemps avant lui M. Macquer, s'était servi de ces composés pour déposer sur les calicots l'alumine nécessaire à l'adhérence de certaines couleurs. En Angleterre même, on en fait une application sérieuse sur une très-grande échelle pour l'impression des étoffes au moyen du rouleau. On sait que l'alumine se dissout dans la potasse ou la soude pour former des aluminates alcalins solubles, qui se décomposent ensuite sous l'influence d'un acide, de l'acide carbonique de l'air, par exemple, en régénérant de l'alumine. Industriellement, les tissus imprégnés d'aluminate alcalin sont exposés dans l'air ; la potasse ou la soude se saturent peu à peu pour mettre l'alumine en liberté ; on arriverait assurément plus vite au résultat qu'on veut obtenir en faisant passer l'étoffe dans des étuves chargées d'air saturé d'acide carbonique préparé par la combustion de mauvais combustible, ou d'acide acétique dissous dans une grande quantité d'eau.

D'après M. Wagner, non-seulement les aluminates alcalins peuvent être employés, mais on peut faire usage des aluminates de magnésie, de zinc et de fer ; on obtient aussi sur tissu la fixation simultanée de deux matières dont l'adhérence doit concourir à l'obtention d'une nuance donnée.

Il est très-rare que la méthode ordinairement employée permette de saturer complétement toute la potasse ; aussi passe-t-on la pièce dans un bain de sel ammoniac ; la base alcaline s'empare du chlore et l'alumine et l'ammoniaque deviennent libres sans former de combinaison ; la première se fixe à l'étoffe, tandis que la dernière reste en dissolution dans l'eau ou bien se volatilise. L'expérience a prouvé que ce dernier moyen n'offre pas tous les avantages qu'on est tenté d'en attendre, et qu'il est de beaucoup préférable de charger l'air d'acide carbonique artificiel. L'alumine mise en liberté par le chlorhydrate d'ammoniaque n'offre en aucune façon le brillant de celle qui se dépose lentement.

Les préparations d'alumine sont employées seules ou mélangées avec d'autres préparations pour rendre les tissus aptes à se teindre avec certaines matières colorantes, qui sans ces intermédiaires ne contracteraient pas avec les fibres textiles une adhérence convenable : nous citerons la garance.

Préparations ferrugineuses.

De même que les sels qui contiennent de l'alumine, les substances qui renferment de l'oxyde de fer ne peuvent servir de préparation aux tissus qu'autant qu'on les amène à l'état soluble et qu'elles abandonnent ensuite à la fibre, soit spontanément, soit sous l'influence d'agents convenablement choisis, une portion notable d'oxyde doué de propriétés efficaces. A quel état convient-il que le fer soit mis en contact avec l'étoffe pour qu'il la prépare dans les conditions les plus avantageuses ? Le fer présente plusieurs états d'oxydation dans les divers sels que le commerce nous offre. Or, l'expérience a fait connaître qu'il n'y a pas d'altération de la matière textile toutes les fois que le protoxyde de fer hydraté déposé sur un tissu passe lentement à l'état de peroxyde de fer et qu'il n'a pas perdu, par une trop grande cohésion, son affinité pour

les matières colorantes ; on conserve cette affinité par la précipitation de sous-sels ou de sels neutres insolubles.

On a remarqué que l'acétate de protoxyde de fer était une bonne préparation ferrugineuse, agissant directement sur la fibre, quelle que soit la méthode employée pour sa préparation. Néanmoins, d'après M. Schlumberger, auquel on doit des expériences intéressantes sur ce sujet, le sel préparé par l'acide pyroligneux est préférable toutes les fois qu'on applique la préparation à la planche, parce qu'il y a contact de l'air plus prolongé ; l'acétate de fer pur doit être préféré toutes les fois qu'on fait usage de rouleau, c'est-à-dire dans toutes les conditions dans lesquelles on travaille rapidement et dans les genres pour lesquels les pièces doivent être dégorgées immédiatement. De plus, il convient que l'air n'ait pas peroxydé le fer dans l'acétate ferreux ; cependant cette manière de voir ne saurait s'appliquer à tous les sels de fer, car le sulfate de peroxyde de fer donne, quel que soit le temps depuis lequel on l'a conservé, des colorations en rapport avec la force de la dissolution ; le sulfate de fer peroxydé paraît même préférable au sulfate de protoxyde pour obtenir avec la garance des tons violets, pâles ou foncés, comme aussi pour les noirs.

Lorsqu'on se sert, comme préparation ferrugineuse, d'acétate de fer, l'expérience conseille d'appliquer de préférence le sel sur le tissu ; il s'y décompose peu à peu et forme un sel basique qui s'oxyde à l'air. Or, dans cette circonstance, il faut prendre certaines précautions pour éviter l'altération de la fibre. On n'ignore plus actuellement, surtout d'après les expériences de M. E. Schwartz, que la fibre s'oxyde elle-même lorsqu'elle se trouve en contact, au moment de l'oxydation, avec une matière avide d'oxygène.

Cette action de l'oxyde de fer peroxydé sur les matières organiques ne saurait être mise en doute. M. Kuhlmann a démontré la conversion de l'essence d'amandes amères en benzoate à 100° dans un tube scellé, sous l'influence du sesquioxyde de fer ; la réduction de cet oxyde par du glucose, du sucre et des analogues ; son action sur les extraits d'un grand nombre de bois colorants. MM. Paul Thenard et Hervé Mangon ont apporté leurs preuves, et M. Hervé Mangon pense que les phénomènes se produisent en vertu de la présence, dans la réaction, d'un certain sel produit sans doute par un acide probablement identique avec l'acide crénique qui réduit spontanément le sesquioxyde de fer.

Quoi qu'il en soit de cette explication, le rôle des sels de fer est incontestable ; et parmi les expériences les plus curieuses qu'on puisse citer, nous relaterons celle dans laquelle M. Wurtz de Washington a démontré que la dissolution de sel de peroxyde de fer pouvait blanchir les dissolutions bleues d'indigo, les solutions de tournesol, de campêche et de cochenille qui sont détruites par le perchlorure de fer. Dès 1840, M. Dumas expliquait la formation de l'encre par l'oxydation du fer aux dépens de l'acide gallique ; les observations de M. Persoz et de M. Barreswil ont confirmé cette théorie.

M. Kuhlmann a répété l'expérience sur la décoloration de l'indigo par les sels de peroxyde de fer ; ce transport de l'oxygène n'est pas sans inconvénient pour la solidité de l'étoffe ; qu'on l'admette par *entraînement*, c'est-à-dire par l'oxydation simultanée de la fibre et de l'oxyde, lorsque l'oxyde de fer protoxydé se transforme en peroxyde, ou par une succession d'oxydations séparées s'attaquant à la fibre et résultant de la réduction de l'oxyde de fer, ce qu'il y a de certain, c'est que la fibre elle-même est sous l'influence d'une propriété comburante qu'on peut attribuer à l'oxyde de fer. Cette dernière interprétation peut s'expliquer à la façon de ces phénomènes qu'on désigne sous le nom de *combustion du sang*.

Dans leurs rapports avec la teinture, ces phénomènes ont été étudiés par Schlumberger. Il résulte de ses recherches sur l'impression en noir des faits qui doivent être pris en sérieuse considération et qu'on peut étendre à la teinture proprement dite ; comme on le dit généralement, le noir a le défaut de *brûler* les tissus :

1° L'altération de l'étoffe n'a lieu généralement que sur des échantillons traités par des dissolutions concentrées ; rarement des étoffes préparées avec des dissolutions marquant 4 degrés Baumé sont altérées par la teinture.

2° L'acétate ferreux altère le tissu, mais beaucoup plus lorsqu'on l'emploie pur que lorsqu'on le fait servir avec une addition d'acétate de plomb en excès.

3° L'addition des fécules et de l'amidon s'oppose à l'altération ; elle est augmentée d'ailleurs par l'exposition à la radiation solaire, et nulle, au contraire, toutes choses égales d'ailleurs, pour une exposition à la lumière diffuse, ou dans l'obscurité.

4° Dans tous les cas l'affaiblissement du tissu se développe dans les premiers jours de l'oxydation, de telle sorte que le 21e jour un tissu quelconque a perdu de sa ténacité tout ce qu'il doit perdre par le fait de l'oxydation.

Suivant qu'on fait passer les échantillons au bouse à la température de l'ébullition ou à celle de 50°, suivant qu'on les plonge ou non, à la sortie du bain de bouse, dans un bain de chlorure de chaux, on observe des signes d'altération plus ou moins avancée : faible pour un bousage à 50 degrés non suivi d'un passage au bain de chlorure, elle est prononcée pour un bousage à l'ébullition suivi d'un passage au bain décolorant.

L'usage a conduit à mêler aux préparations de fer certains composés, métalliques ou non, dont le but multiple peut se résumer ici en disant qu'ils doivent :

1° Favoriser la fixation de l'oxyde de fer ;

2° Prévenir une oxydation par trop rapide ;

3° S'opposer à la dessiccation trop prompte ;

4° Conserver à l'impression une grande netteté dans le cas où la teinture ne doit pas conduire à des teintes unies.

Au nombre de ces divers composés, nous constatons des sels de cuivre, des huiles empyreumatiques, l'acide arsénieux, du chlorure de zinc, du chlorure d'ammoniaque, du nitrate de potasse, des chlorates de potasse et de soude, du saccharate de chaux, de l'acide oxalique, de l'acide acétique, etc.

L'action des sels de cuivre me paraît obscure, s'il n'est pas possible de la rattacher à l'action directe de la matière colorante sur l'oxyde de cuivre lui-même déposé sur le tissu.

L'acide pyroligneux qu'on préfère à l'acide acétique renferme des matières empyreumatiques qui retardent l'oxydation du fer et s'opposent à l'altération de l'étoffe. Cette différence est importante au point de vue de la teinture en noir.

L'acide arsénieux, qu'on emploie souvent pour teindre en violet et en lilas, remplit ces deux rôles ; d'une part, formant avec l'oxyde de fer une combinaison insoluble, il conserve à cet oxyde les propriétés chimiques de cette base ; d'autre part, il ralentit directement ou indirectement l'oxydation sous l'influence de l'air atmosphérique.

Le chlorure de zinc introduit dans la préparation du noir ne peut pas avoir d'action directe sur les résultats obtenus ; cependant l'oxyde de zinc peut entrer en combinaison avec l'oxyde de fer et former des composés multiples avec la matière colorante. J'ai fait voir que l'oxyde de fer et l'oxyde de zinc se combinent pour former un corps défini d'une couleur ocreuse particu-

lière. L'oxyde de zinc dans tous les cas combat la tendance des matières amylacées à se coaguler.

Le chlorate de potasse, le chlorate de soude, l'azotate de potasse et le sel ammoniac sont surtout en usage pour l'impression à laquelle ils donnent des dessins très-nets. Certains fabricants qui s'en sont servis dans leurs ateliers en ont été très-satisfaits. Hausmann préférait, dans beaucoup de préparations, l'addition de substances capables de dégager de l'ammoniaque.

Le sucre, l'acide tartrique, l'acide citrique ou le jus de citron, le saccharate de chaux sont surtout employables pour les nuances claires, parce qu'il y a précipitation d'une partie de l'oxyde de fer, et parce qu'en outre une partie des bases salifiables se trouve complétement masquée.

Des expériences souvent répétées ont prouvé que, dans la teinture en noir, le pyrolignite de fer ou l'acétate de protoxyde non épaissi produisent, en 6 heures d'exposition à l'air, des couleurs qui, considérées au point de vue de leur intensité, sont aussi vigoureuses que si l'exposition avait duré 24 jours; que des préparations épaissies n'offrent que de légères différences en faveur de ceux qui sont exposés pendant 24 jours, différences qui disparaissent totalement, si l'on expose, durant 40 heures, au lieu de 6 ces mêmes échantillons avant de les teindre; que les préparations dont l'oxydation se fait en 6 jours, en 40 heures ou en 48 heures, donnent toujours à la teinture des nuances plus riches et plus intenses que quand ces préparations ont séjourné à l'air durant 40 jours, et à plus forte raison pendant 24 jours; et que ces différences se font surtout remarquer avec l'acétate ferreux, qui, ne renfermant pas comme le pyrolignite une substance capable d'en retarder l'oxydation, présente toujours des teintes moins favorables : le sel existe sur les fibres à l'état de phosphate de fer ou d'arséniate, suivant qu'on a pris pour le dégommage ou de la bouse de vache ou de l'arséniate double de potasse et de chaux. Ce fait explique comment l'étoffe, chauffée vers 160 ou 180 degrés, pourrait ne pas perdre la propriété de se teindre, ce qui n'arriverait pas avec un simple dépôt d'oxyde de fer peroxydé.

Nous devons admettre que, dans l'opération du mordançage par les sels de fer et par l'acétate de protoxyde, l'oxyde de fer se dépose à l'état d'oxyde ferreux ; l'oxydation a lieu sur le tissu; il se forme un acétate basique qui conserve à l'oxyde ses propriétés utiles en présence des matières colorantes, et qui, sous l'influence des sels à bouser, se transforme en phosphate ou en arséniate ; l'oxydation doit être lente et progressive, car si l'action est énergique, la solidité de l'étoffe est compromise, et l'oxyde de fer peut passer à l'état isomérique, difficilement soluble dans les acides, et dès lors incapable de fixer les matières colorantes.

Les sels de fer sont acides ou neutres. Les sels acides sont évidemment impropres à la teinture ; d'après ce que nous venons de dire, il en est autrement des sels neutres ; par leur oxydation, les sels de protoxyde de fer forment un sel qui, pour devenir neutre, exigerait trois fois plus d'acide que le sel primitif n'en contient ; il y a donc formation d'un sel basique très-peu stable, apte à céder au tissu quelque peu de base capable à son tour de fixer la matière colorante. On a prétendu, d'ailleurs, que la coloration du sous-sel influait elle-même sur la nuance du tissu. Ainsi les arséniates et les phosphates sont peu colorés, tandis que les sous-azotates sont très-colorés. Cette proposition n'est admissible que dans le cas où le sel de fer est, à lui seul, la matière colorante. Tout porte à croire que, dans le cas d'une teinture proprement dite, les acides arsénique, phosphorique, azotique sont éliminés sous l'influence des lavages convenables, et surtout par les lessivages avec des eaux alcalines; la coloration ne résulte alors que de la combinaison de l'oxyde de fer avec la fibre et la matière colorante.

Il faut une si faible quantité d'oxyde de fer pour modifier les teintes de la garance avec les préparations alumineuses, qu'il convient d'éviter le contact du fer métallique même avec les tissus qui doivent être teints en rouge. Le sulfure de fer et le fer qui se rouille agissent comme mordants ferrugineux, en fixant la couleur.

Les emplois importants qu'on fait aujourd'hui des sels de fer dans l'industrie des toiles peintes ont appelé l'attention des chimistes sur la composition de plusieurs sels, tels que les acétates et les azotates. On doit à MM. Péan de Saint-Gilles, Scheurer-Kestner et Oudemans, des observations intéressantes qui permettent d'expliquer quelques réactions obscures du mordançage au sel de fer.

D'après M. Scheurer, il existe plusieurs azotates de fer.

Quand on traite le fer métallique par de l'acide de 1,034 de densité, le produit dissous contient de l'azotate de protoxyde de fer et de l'azotate d'ammoniaque. Avec de l'acide azotique de 1,073 de densité, le produit soluble est formé d'un mélange d'azotate de protoxyde et de peroxyde de fer accompagné d'azotate d'ammoniaque. Un acide de 1,115 de densité ne fournit que de l'azotate de peroxyde sans formation d'ammoniaque. Avec un acide d'une densité supérieure à 1,115, on forme des azotates de peroxyde, de composition variable avec les circonstances de l'opération. En employant l'acide à 1,332 de densité, pour dissoudre une quantité convenable de fer, on obtient une dissolution de 1,580 de densité, qui dépose, en se refroidissant, de beaux prismes rectangulaires à quatre faces, qui deviennent presque incolores, en les séchant sur du papier buvard; ils contiennent 18 équivalents d'eau, et correspondent à la composition de l'azotate neutre de peroxyde de fer. Ils se décomposent à la chaleur avec la plus grande facilité; à 50°, il s'en dégage déjà des vapeurs acides; pendant l'ébullition, il se dépose un sel basique insoluble.

Le sel neutre peut dissoudre à froid différentes proportions d'oxyde de fer hydraté, et former ainsi des sels basiques à deux et trois équivalents d'acide. L'azotate à deux équivalents d'acide se prépare, par exemple, en faisant dissoudre 100 grammes de cristaux neutres dans de l'eau, précipitant par l'ammoniaque la totalité du fer, et ajoutant encore pour dissoudre le fer oxydé, parfaitement lavé, 200 grammes de cristaux. Pour préparer l'azotate tribasique, on prend 200 grammes de cristaux, qu'on décompose par l'ammoniaque, et qu'on redissout dans 100 grammes de cristaux purs.

Ces trois azotates de fer sont donc solubles, et par l'ébullition ils précipitent des sels insolubles; on les en sépare en étendant d'eau et filtrant. Ces sels sont décomposables à 130°; ils abandonnent de l'acide, pour se transformer en oxydes; ils sont insolubles dans l'acide azotique, mais très-solubles dans l'acide chlorhydrique.

Le sel qui se forme par l'ébullition du sel neutre peut être supposé contenir un équivalent d'azotate tribasique et un équivalent de peroxyde de fer à un seul équivalent d'eau.

Le sel qui prend naissance par l'ébullition d'un sel sesquibasique peut être supposé contenir un équivalent d'azotate tribasique de fer et deux équivalents de peroxyde de fer à un seul équivalent d'eau.

Le sel qui se forme par l'ébullition de l'azotate tribasique peut se représenter par la combinaison de l'azotate tribasique de fer avec trois équivalents de peroxyde de fer hydraté.

Ces sels de fer peuvent donc être employés avanta-

geusement, par suite de la propriété qu'ils possèdent de se dédoubler en sels insolubles par l'ébullition; il convient, pour expliquer certaines réactions, de tenir compte des propriétés que ces sels présentent encore, et dont on doit l'observation à MM. Scheurer-Kestner.

L'azotate de fer neutre et les deux azotates basiques dont nous venons de parler, renfermés dans des tubes scellés et soumis à la température de l'eau bouillante, sont altérés : les sels basiques deviennent rouge brique; la dissolution limpide par transparence semble trouble, vue par réflexion. Le sulfate de soude précipite la dissolution. Le liquide, séparé du dépôt, offre la composition de l'azotate neutre. Quant à l'azotate neutre, il n'est pas modifié. Le précipité fourni par le sulfate de soude contient un équivalent d'eau pour un équivalent de fer; il est soluble dans l'eau pure, mais insoluble dans les acides concentrés. Cette dissolution ne donne pas les caractères des sels de fer avec les ferrocyanures et sulfocyanures.

Ainsi la chaleur exerce sur les deux azotates basiques une action analogue à celle qu'elle produit sur l'acétate de fer, à cette différence près : tandis que l'acétate de fer est décomposé d'une manière complète en oxyde de fer et en acide acétique, les azotates basiques sont décomposés en oxyde de fer et en azotate neutre, ce dernier sel résistant à la décomposition. La lumière agit de même que la chaleur. Aussi faut-il éviter de conserver ces dissolutions basiques qui perdent leur énergie en vieillissant.

Les acétates de peroxyde de fer se préparent facilement, d'après M. Oodemans, en traitant par l'acide acétique concentré (dix fois le poids du fer) le peroxyde de fer préparé par le fer converti par l'eau régale en sesquichlorure de fer précipité par l'ammoniaque; on fait macérer pendant 40 heures de 50 à 60° et, après un peu de repos, on décante la liqueur claire, on évapore sur des assiettes à 60°; on obtient de la sorte un produit solide qu'on achève de dessécher pendant quelque temps à 110° et qui représente une composition définie; il peut ainsi servir comme préparation ferrugineuse très-fidèle dans le cas où le peroxyde de fer doit jouer un rôle actif. Mais il faut tenir compte de certaines circonstances observées par M. Péan de Saint-Gilles.

Les recherches de ce chimiste ont fait voir qu'une dissolution d'acétate de peroxyde de fer, chauffée dans un bain-marie à l'ébullition pendant dix à douze heures, reste transparente par transmission et devient opaque par réflexion; elle n'a plus de saveur et cesse d'accuser les réactions de l'oxyde de fer, par exemple avec les ferrocyanures. Le sulfocyanure lui-même ne décèle par le plus petite quantité d'oxyde de fer. Les acides précipitent de la liqueur un précipité ocreux, brun, insoluble, dans les acides même concentrés.

L'hydrate de sesquioxyde de fer pur, sous l'influence de l'eau et de l'ébullition, se modifie lui-même peu à peu et acquiert les mêmes propriétés que l'oxyde de fer traité par l'acide acétique et chauffé comme nous l'avons dit plus haut; cet hydrate ne contient que 10 p. 100 d'eau; de plus il ne possède plus la propriété de devenir incandescent quand il passe de la température ordinaire à la température rouge. Il est, en un mot, dans cet état particulier prévu par M. Persoz et attribué aux oxydes à 3 équivalents d'oxygène quand ils sont impropres à la teinture. L'hydrate modifié ne joue donc plus le rôle de base; il est isolé et ne joue nullement le rôle de l'oxyde de fer dans les sels ferriques. Ces faits ont une importance réelle pour la théorie de la teinture et pour celle de l'impression, c'est à ce titre que nous les rapportons ici. Il en résulte la nécessité pour les industries qui nous occupent de ne préparer les sels de fer qu'en évitant avec soin une plus forte élévation de température dont on serait tenté de faire usage pour faciliter la dissolution. Nous donnons à cette occasion la méthode employée dans la pratique.

Les acétates et pyrolignites de fer se préparent en grand dans les fabriques d'indiennes; on utilise, à cet effet, la solubilité du fer métallique dans l'acide acétique ou même dans le vinaigre. L'acide acétique dont on se sert est l'acide pyroligneux. On chauffe à 40 ou 50 degrés de l'acide pyroligneux ou de bon vinaigre, on le verse dans un tonneau sur de la ferraille bien nettoyée et qui plonge complétement dans l'acide; le tonneau est couvert; au bout de trois ou quatre jours on soutire par la partie inférieure 40 ou 50 litres qu'on reverse par la partie supérieure et ainsi de suite pendant trente ou quarante jours; après ce temps, le sel est formé. Si l'on a fait usage de bon vinaigre et que l'opération ait été bien menée, la dissolution qu'on obtient sous le nom de *bain de noir* marque 7 à 8 degrés Baumé, dans le cas contraire, elle ne marque que 6 à 7 degrés; si l'on a fait usage d'acide pyroligneux, le sel marque 13 à 16 degrés suivant le degré de concentration de l'acide dont on a fait usage.

Ce sel peut s'obtenir encore au moyen d'une double décomposition par le mélange d'une dissolution de sulfate de protoxyde de fer et d'acétate de plomb; on tire à clair pour enlever la totalité du sulfate de plomb qui forme un dépôt inutile.

Les analogies que présente l'acide hyposulfureux avec l'acide acétique ont conduit à penser que l'hyposulfite de fer pourrait servir de bonne préparation pour la teinture des tissus en couleurs qui exigent le concours du fer. L'hyposulfite de fer se prépare en ajoutant de l'hyposulfite de soude à du sel à base de protoxyde; ce mordant renferme un corps qui s'oppose à l'oxydation trop vive du métal. Il se fixe un sous-sel après la fibre sans l'altérer sensiblement.

Les préparations ferrugineuses s'emploient soit isolément, soit en mélange avec les préparations alumineuses; dans le premier cas, elles concourent avec les matières colorantes rouges à la production des lilas, des gris et des violets; avec les matières colorantes jaunes, elles forment des gris olive et des verts bruns; avec le secours d'un mélange de matières colorantes jaunes et rouges, elles produisent une foule de nuances intermédiaires depuis le gris clair jusqu'au noir le plus foncé.

Lorsque les préparations ferrugineuses sont associées aux compositions alumineuses, elles fournissent avec les matières colorantes rouges des nuances plus ou moins intenses tirant au noir; avec les matières colorantes jaunes, des jaunes plus ou moins olivâtres selon qu'il y a plus ou moins de fer; avec un mélange de matières colorantes jaunes et rouges, des couleurs brunes, feuille morte, bois pourri, qui varient à l'infini suivant qu'on change dans la préparation les rapports de l'alumine à l'oxyde de fer, ou les proportions des matières colorantes jaunes et rouges dont on fait usage pour composer le bain de teinture.

Préparations chromiques.

Les analogies qui rapprochent les oxydes d'alumine et de fer permettent de penser que l'oxyde de chrome peut convenablement préparer les tissus pour les rendre propres à la teinture. En effet, on se sert des sels de chrome pour préparer les toiles qui doivent passer en campêche, en brésil, en garance, en quercitron. Les composés qui servent de base à la préparation chimique sont de nature essentiellement variée; et comme l'oxyde de chrome forme des sels très-différents, que les uns jouissent de propriétés oxydantes très-prononcées, l'action de ces composés est très-complexe, car elle peut se porter tout à la fois sur la fibre animale ou végétale et sur la matière colorante elle-même; il peut y avoir combinaison de l'étoffe avec l'oxyde de chrome à l'état

de sesquioxyde et oxydation de la matière colorante, puis adhérence par nouvelle combinaison entre la couleur et l'étoffe modifiées toutes les deux. Généralement on admet que le bichromate de potasse agit dans la teinture en oxydant la laine; on peut combattre cette opinion par une série d'expériences :

1° En faisant réagir sur le tissu du permanganate de potasse à chaud ou à froid, ou du ferrate de potasse, et constatant que cette laine (qu'on considère comme oxydée par la réduction de l'acide métallique), teinte au bain de campêche avec le chlorure d'étain, ne prend pas la même couleur que sous l'action du bichromate;

2° En soumettant le tissu à l'action d'une dissolution bouillante d'acide chromique pur, ce qui lui donne une teinte verte (par le fait de la réduction de l'acide chromique, conséquence, selon les autres, d'une oxydation de la laine), et démontrant que par la teinture, la laine prend la couleur bronze, au lieu du bleu, qui est la couleur produite par le bain du chromate employé à la manière ordinaire.

Selon MM. Blockey et Sugden, le bichromate en nature se fixerait sur le tissu (c'est du moins ce que les auteurs pensent, d'après la couleur jaune que prend la laine); et ce serait à la faveur de cette préparation de bichromate de potasse que se ferait la teinture.

M. Barreswill regarde comme probable que dans le mordançage par le bichromate, qui le plus souvent est acidulé, il y a une légère destruction du tissu, par le fait de la réduction partielle de l'acide chromique, et qu'il se forme un oxyde intermédiaire de chrome qui reste fixé sur la laine, pour être ultérieurement réduit par l'oxyde d'étain, et transformé par suite en sesquioxyde de chrome, susceptible de s'unir à la matière colorée pour former un sel simple de chrome ou peut-être un sel double stanno-chromique. L'idée d'oxydation du tissu paraît être abandonnée.

M. Boutarel, chef d'une importante maison de teinture à Clichy, n'admet pas complétement cette manière de voir : car une étoffe préparée par le bichromate de potasse, et plongée dans un bain de campêche et de chlorure d'étain, prend une couleur bleuâtre, qui, si le bain est assez concentré, finit par devenir rougeâtre.

Pour obtenir une couleur avec du bichromate et du campêche, on doit mordancer en bichromate d'abord, laver, puis teindre en campêche. En mettant ensemble le colorant et le bichromate, on ne peut teindre. La première expérience faite pour prouver que le bichromate n'a aucun effet oxydant lui paraît avoir bien peu de valeur; car on semble conclure que si le bichromate agissait comme oxydant, il devrait donner la même teinte que les oxydes de fer et de manganèse. Or, ces trois oxydes, teints en campêche, donnent des tons très-différents : on doit conclure que la teinture, dans tous les cas, peut être considérée comme résultant de la formation d'une molécule très-complexe.

Lorsqu'on mordance une étoffe en bichromate de potasse, et qu'on la teint ensuite dans un bain de campêche suffisamment concentré, on obtient du noir, soit qu'on ait empêché la réduction de l'acide chromique en ajoutant de l'acide nitrique dans le bain de mordançage, soit qu'on ait, au contraire, favorisé la réduction, en y ajoutant de l'acide sulfureux. Dans le premier cas, l'étoffe est jaune; dans le second cas, elle est verte; mais elle donne toujours du noir dans un bain de campêche suffisamment concentré. Pourtant, c'est dans le premier cas que la teinture s'opère le plus facilement. Du reste, voici une expérience qui prouve encore le même fait.

On mordance un morceau de laine dans un bain de bichromate de potasse et d'acide nitrique; on le lave, et on l'expose encore humide aux rayons solaires, en couvrant la moitié du tissu avec du papier. La partie éclairée devient verte, la partie cachée reste jaune. On teint ce morceau dans un bain de campêche : la partie jaune prend d'abord une nuance plus foncée que la partie verte, mais bientôt la différence disparaît, et il devient impossible de distinguer les deux moitiés. Ces différences peuvent s'expliquer par les modifications que subit l'oxyde de chrome dans certaines circonstances étudiées par M. Fremy. On pourrait supposer avec M. Barreswill que, dans la teinture en bleu pourpre, le chrome est à l'état d'oxyde (modification rouge ou plutôt violette), et que dans la teinture finale noire, il existe à l'état d'oxyde (modification verte, qui est la plus stable).

Ces observations semblent d'accord avec celles de M. Camille Kœchlin, auquel l'industrie des toiles peintes doit l'application de l'oxyde de chrome. Après avoir constaté que les sulfites alcalins dissolvent l'oxyde de chrome, et qu'un excès d'alcali pur ou carbonaté n'empêche pas la dissolution, et qu'il la rend beaucoup moins stable, M. Kœchlin a tiré parti d'une réaction très-nette du sulfite de soude sur le chromate de potasse. Le sulfite de soude en mélange avec un acide susceptible de déplacer l'acide sulfureux, décomposé par le chromate de potasse, puis rendu alcalin par l'ammoniaque, produit de l'oxyde de chrome; cet oxyde peut, suivant les proportions des divers réactifs qui constituent le mélange, se produire insoluble ou soluble, et affecter les diverses couleurs sous lesquelles il est connu : verte, violette ou rouge.

On prépare le sulfite à 13°, nécessaire pour produire ces réactions, en soumettant des cristaux de soude à l'action de l'acide sulfureux; on obtient des dissolutions qui marquent 41° Baumé, et qui cristallisent quand on neutralise l'excès d'acide; un litre d'une telle dissolution réduit 450 grammes de bichromate de potasse, ce qui correspond à 285 grammes d'acide sulfureux; on la ramène par une addition d'eau, de manière à marquer 13° Baumé.

Avec 100 parties d'une semblable dissolution de sulfite de soude à 13° et

1° 5 parties de chromate acide de potasse, l'ammoniaque en excès produit une dissolution verte;

2° 5 parties de chromate et 2 parties d'acide sulfurique, l'ammoniaque produit une dissolution verte;

3° 5 parties de chromate de potasse et 4 parties d'acide sulfurique, l'ammoniaque donne une dissolution violette;

4° 5 parties de chromate et 8 parties d'acide sulfurique, l'ammoniaque forme une dissolution rouge;

5° 10 parties de chromate et 4 parties d'acide, l'ammoniaque donne un précipité vert;

6° 10 parties de bichromate et 8 parties d'acide, l'ammoniaque forme un précipité violet;

7° 10 parties de bichromate de potasse et 16 parties d'acide donnent un précipité violet rougeâtre.

Il est important que l'acide soit ajouté d'abord au chromate; on ajoute ensuite le sulfite alcalin.

Pour la teinture en campêche, on fait usage d'un mordant de chrome, qu'on forme au moyen du bichromate de potasse additionné de son poids d'acide sulfurique; on ajoute peu à peu une certaine quantité de mélasse ou de dextrine, pour désoxyder l'acide chromique. On prépare l'étoffe à chaud dans ce mélange étendu d'une proportion d'eau suffisante; pour 56 à 60 kilogrammes de coton, on emploie le même poids de campêche et l'oxyde de chrome résultant de la décomposition de 67 grammes de chromate acide de potasse.

On peut employer avantageusement l'alun de chrome pour effectuer le mordançage des tissus. Ce que nous avons déjà dit des propriétés de l'alun ordinaire nous dispense d'entrer ici dans de plus amples détails.

Les sels de chrome sont employés, surtout aujour-

d'hui, pour l'obtention des couleurs rabattues; celles qui sont les plus communes sont les noirs dits au chromate.

Les matières colorantes en général n'acquièrent, avec l'oxyde de chrome, que des nuances sales et ternes; celles qui donnent les laques les plus pures sont le quercitron, la garance, le campêche et le brésil.

Préparations stanniques.

L'oxyde d'étain constitue l'une des préparations les plus remarquables employées dans l'art de la teinture. Son usage date au moins de 1630. Il est intéressant de citer ici la composition pour l'*escarlotte* d'Hollande, tirée d'un manuscrit que possède M. Chevreul, qui le doit à l'obligeance d'Adrien de Jussieu, lequel la tenait de ses ascendants. Ces procédés sont tels qu'ils étaient pratiqués en 1666 et 1667 dans la teinturerie fondée par Gobelin. Voici l'extrait que j'emprunte au travail de M. Chevreul sur l'Exposition de Londres, p. 21. L'écarlate à l'oxyde d'étain ne date que de 1630 : on en est redevable à Cornelius Drebbel, Hollandais; elle fut pratiquée sur une grande échelle à Leyde, par Kuffelar, teinturier, gendre de Drebbel, puis importée par un nommé Jean Gluck ou Kloech.

On trouve dans l'ouvrage cité les moyens de faire les *escarlattes rouges dittes de graine*, au moyen de l'*alun*, du *tartre*, de l'*arsenic*, de la graine et du *pastel* d'escarlatte ou *vermillon*, qu'une note marginale définit *vermisseaux qui s'engendrent dans la graine*. On y donne des recettes pour faire le *pourpre oriental* ou *escarlatte d'Hollande*, qui, par les différences qu'elles présentent, prouve que l'on n'était pas encore fixé sur un procédé préférable à tout autre. En effet, dans une recette, on prescrit pour le *bouillon* l'emploi simultané du *tartre*, du *sel armoniac*, de la *farine de poix*, d'*esprits*, de l'*alun*, du *sel gemme*, ou bien, du *sel armoniac*, du salpêtre raffiné, du *tartre*, de la *farine*, de l'alun, des esprits dont on donne des proportions diverses. On prescrit pour la *rougie*, ce qu'on nomme *cochenille*, la cochenille dite *mestec*, le *tartre blanc*, l'*amidon blanc* et les esprits. Ces recettes sont remarquables, dit M. Chevreul :

1° Par l'absence de la dissolution d'étain dans l'une d'elles; mais comme on opérait dans une chaudière de ce métal fin, c'était le vaisseau qui fournissait l'étain nécessaire à la constitution de la couleur;

2° Par l'emploi simultané de l'alun et des acides; une autre recette intitulée : *La vraye manière de faire l'escarlotte d'Hollande*, prescrit une composition d'eau-forte et d'étain.

Eau forte. . . . . 2 livres.
Étain fin d'Angleterre. . . 4 onces.

La dissolution faite, on ajoute ensuite à

Eau. . . . . 75 seaux.
Cristal de tartre. . . . . 2 livres.

Voilà le bouillon pour un drap de 35 brasses.

Dans la rougie, on emploie

Eau. . . . . 75 seaux,

à laquelle on ajoute une dissolution d'étain composée avec

Eau forte. . . . . 4 livres.
Étain fin. . . . . 8 onces.

On fait chauffer, et quand le bain est sur le point de bouillir, on y met

Cochenille. . . . . 67 à 70 onces.

Si l'on veut une couleur rosée, on ajoute 2 livres de tartre.

Pour que la dissolution fût possible dans l'eau forte, il fallait que celle-ci contînt de l'acide chlorhydrique ou un chlorure.

Les sels d'étain sont les seuls qui jusqu'ici donnent à la cochenille la magnifique couleur qu'on connaît sous le nom d'écarlate. Nous allons étudier ceux que l'industrie préfère employer.

L'étain forme, comme on sait, deux combinaisons avec l'oxygène; l'une agit à la façon d'une base, l'autre à la façon d'un acide; de là deux modes d'emploi dans l'art de la teinture. Au reste, les deux sels préparent la toile sur laquelle ils abandonnent de l'oxyde d'étain, qui contracte avec elle une grande adhérence. On se règle, sur le choix à faire entre les deux sortes de sels, sur la nature de l'étoffe et sur la nuance qu'on veut obtenir.

Composés dans lesquels l'oxyde d'étain agit comme base. — Les préparations dans lesquelles l'oxyde d'étain joue le rôle de base sont de deux sortes, suivant que l'étain est à l'état de protoxyde ou de peroxyde d'étain. Le protochlorure d'étain est la préparation la plus répandue; en contact avec un tissu quelconque, il lui laisse de l'oxyde d'étain, car l'eau seule le décompose déjà; il se forme un sel soluble acide qui reste dissous, et un sel insoluble qui se précipite et se dépose sur la fibre. On en fait usage pour les couleurs vapeurs; mais comme ce sel ne se détruit que par double décomposition, il en résulte une quantité proportionnelle d'acide chlorhydrique qui détruit les tissus, surtout le coton. On a recours, pour combattre cet effet, à l'acétate de potasse ou de soude, dans la solution de laquelle on fait passer les pièces foulardées dans le protochlorure d'étain. Les acétates agissent à la façon des bases.

Au lieu d'employer le protochlorure d'étain, on fait souvent usage du sulfate de protoxyde d'étain dissous dans l'acide chlorhydrique.

Sur 10 kilogrammes d'étain en grenaille, introduits dans un vase de porcelaine, de grès ou de verre, on verse 15 kilogrammes d'acide chlorhydrique du commerce exempt de fer, on ajoute peu à peu dans ce mélange $7^k,5$ d'acide sulfurique à 66°; il y a dégagement de chaleur, et l'étain, violemment attaqué, se dissout sans peine, dès le commencement, plus difficilement à mesure que la concentration s'opère; on termine l'action en élevant la température à la fin de l'opération jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène. On obtient, par le refroidissement, une masse de cristaux qui contiennent un léger excès d'étain, et qu'on étend d'eau, pour que le tout pèse huit fois le poids de l'étain dissous, c'est-à-dire 80 kilogrammes.

La difficulté de trouver des vases en porcelaine d'une capacité suffisante pour l'opération que nous venons de décrire a fait rechercher les vases en métal. On prépare aujourd'hui, dans les fabriques, les chlorures et les sulfates d'étain dans de grandes chaudières en cuivre, étamées fortement en dedans et en dehors. On a fait usage de capsules d'étain; mais elles sont trop sujettes à se fondre, si l'on ne prend pas assez de précautions dans la conduite du feu.

Si l'on chauffe à 100 degrés dans un bain-marie de l'acide sulfurique de Nordhausen, dans lequel on fait dissoudre jusqu'à saturation complète du protochlorure d'étain et qu'on dessèche jusqu'à ce que le mélange prenne la consistance d'un mortier durci, qu'on conserve à l'abri de l'air, on obtient une bonne préparation capable de faire adhérer aux fibres textiles les matières colorantes qui forment laque avec l'oxyde d'étain.

Les sels de peroxyde d'étain peuvent également, ainsi que nous l'avons dit, servir d'intermédiaire entre les fibres et les matières colorantes dans les opérations de la teinture. On prépare pour cet effet les bichlorures d'étain au moyen des deux méthodes suivantes, qui pratiquement donnent d'excellents résultats.

1° 10 kilog. d'étain sont traités par 80 kilog. d'acide nitrique à 26 degrés, dans lequel on a fait dissoudre 10 kilog. de sel ammoniac.

2° 10 kilog. de protochlorure d'étain sont traités par un mélange formé de 16 kilog. d'acide chlorhydrique du commerce et 8 kilog. d'acide nitrique.

3° Suivant M. Kopp, l'hyposulfite d'étain permet de fixer sur les tissus une proportion assez considérable d'oxyde d'étain qui donne à la teinture des nuances assez vives. L'hyposulfite de soude ne doit être mêlé qu'à des sels de bioxyde d'étain ou aux composés multiples à base d'oxyde stannoso-stannique, parce qu'au contact des sels de protoxyde, il se forme rapidement ou du sulfure ou de l'oxysulfure d'étain.

Composés dans lesquels l'étain joue le rôle d'acide. — Dans d'autres composés l'étain fait fonction d'acide; ces préparations sont fréquemment employées; on en fait usage lorsqu'on peut détruire la combinaison dans des conditions telles que l'oxyde stannique puisse se fixer sur l'étoffe. Pour préparer le stanoate de potasse on fait dissoudre de l'oxyde d'étain, ou mieux du protochlorure d'étain dans la potasse qu'on ajoute en grand excès pour faire redissoudre le précipité qui s'est formé tout d'abord. Ce composé n'offre qu'une faible résistance. L'acide carbonique de l'air tend à le décomposer en mettant en liberté du protoxyde d'étain qui s'oxyde lui-même sous l'influence de l'air atmosphérique. Cette même décomposition s'effectue déjà sans le concours de l'air; car le protoxyde d'étain se dédouble par un nouvel arrangement moléculaire en étain métallique et en peroxyde d'étain. Quant à l'étain métallique, il s'oxyde à son tour pour donner finalement de l'acide stannique.

En définitive, on voit donc que c'est toujours de l'acide stannique qui se dépose sur les tissus. Quelques fabricants obtiennent un résultat immédiat en faisant usage du bichlorure d'étain pour obtenir une bonne préparation stannique. On le précipite par la potasse, et le dépôt est dissous dans une quantité convenable de potasse en excès.

On n'a que rarement recours aux sels d'étain pour produire les nuances garancées, mais on s'en sert quelquefois pour combattre les effets produits par la présence de l'oxyde de fer; on en fait encore usage pour modifier par substitution, ce qu'on nomme *conversion*, une étoffe teinte avec le concours de préparations alumineuses. On s'en sert avec le plus grand avantage dans l'établissement de toutes les couleurs d'application et surtout pour fixer les couleurs dites *couleurs vapeurs*. Nous aurons plus loin à revenir sur les principes qui guident le fabricant dans la préparation des matières colorantes de cette sorte.

Préparations organiques (mordants organiques).

Les matières minérales que nous venons d'étudier ne sont pas les seules qui soient aptes à rendre adhérentes aux tissus celles des matières colorantes d'origine organique qui ne contractent par elles-mêmes aucune combinaison avec les fibres textiles, quelle que soit leur nature. Nous avons déjà fait comprendre, en parlant du blanchiment, que certaines substances de la classe des matières grasses, modifiées dans certaines circonstances, jouissent de la propriété que nous venons de rappeler, et qu'elles agissent dans les opérations de la teinture comme de véritables *mordants*.

Toute la fabrication du rouge ture ou rouge d'Andrinople repose sur l'emploi d'huiles convenablement modifiées pour pouvoir faire contracter aux tissus d'origine végétale une véritable coloration d'un rouge éclatant sous l'influence de la garance. On donne à ces huiles modifiées, ou capables de se modifier, le nom d'huiles tournantes; elles sont devenues, de la part des chimistes les plus distingués, l'objet d'études très-intéressantes, et le type auquel on a rattaché le plupart des intermédiaires propres à la teinture entièrement destructible sous l'influence de la chaleur, que leur origine et leur nature ne permettraient pas de classer parmi les mordants inorganiques ou minéraux.

Il existe d'ailleurs certaines substances qui, après teinture, retiennent sur la laine, la soie et le coton non blanchi, les matières colorantes qui nécessiteraient des mordants. On n'en connaît pas la nature, les fibres végétales sont les seules qu'on ait pu débarrasser de ce mordant. En serait-il de même de la soie et de la laine? Que sont les tissus débarrassés de ce mordant organique; est-ce cette substance qui rend les tissus réducteurs? Ces questions restent encore à résoudre.

Nous trouvons, parmi les intermédiaires organiques propres à fixer les couleurs, des substances organisées, animalisées, c'est-à-dire produites directement avec ces qualités sous l'influence de la vie, d'autres matières ne jouissant des propriétés utiles que nous énumérons qu'après avoir été modifiées dans des circonstances données. Nous allons chercher à présenter à ce sujet quelques réflexions suggérées par certaines substances appartenant à des groupes bien différents.

Matières albuminoïdes. — Lorsqu'on soumet à la teinture des œufs pour leur donner les couleurs diverses des œufs de Pâques, on se contente de les faire bouillir dans des décoctions de différentes matières tinctoriales, de bois du Brésil, de bois de Campêche, de pelures d'oignon, du pain de tournesol, d'orseille, etc. Toutes ces couleurs se fixent parfaitement bien sans aucune intervention de matière particulière, avec cette seule différence que tel œuf prend la matière colorante d'une manière plus prononcée que tel autre. Dans ce cas, comme l'a démontré M. Kuhlmann, la coloration se trouve déterminée non pas par le sel calcaire dont la coquille est formée, mais par un enduit albuminoïde azoté qui revêt la surface sous une épaisseur plus ou moins variable. En effet, si l'on traite pendant un certain temps des œufs par de l'acide chlorhydrique affaibli, en ayant soin de ne faire atteindre par le liquide que la moitié de la surface de chaque œuf, les parties attaquées se couvrent d'une matière émulsive blanche qu'un simple lavage à l'eau suffit pour détacher. Les parties non atteintes sont alors les seules qui fixent les couleurs, ce sont celles qui sont naturellement recouvertes d'un enduit naturel qui ressemble assez à de l'albumine coagulée. Les parties des œufs qui ont eu le contact de l'acide restent parfaitement blanches.

L'affinité de l'albumine pour les matières colorantes est d'ailleurs démontrée par les colorations que prend dans les bains de brésil, de campêche, etc., de l'albumine coagulée par la chaleur. Ces curieux résultats ont conduit M. Kuhlmann à faire quelques essais de teinture sur des étoffes de coton, de laine et de soie préalablement préparées avec de l'albumine coagulée soit au moyen d'un acide, soit par la chaleur. Il est évident, d'après ces essais, que l'albumine est convenable pour les tissus de coton, qu'elle convient moins pour la soie et qu'elle ne donne que des avantages à peu près insensibles pour les tissus de laine. Au moins faut-il admettre qu'il en est ainsi dans l'emploi de la garance, du brésil et du campêche.

Nous avons déjà cité celle des expériences de M. Verdeil sur laquelle il s'appuie pour démontrer que la transparence des fibres est une des causes les plus influentes de l'intensité que possède une teinture donnée. Elles prouvent la tendance de l'albumine à fixer les oxydes métalliques.

Lorsque de l'albumine est coagulée dans l'eau renfermant du bichlorure d'étain, et que la coagulation est obtenue par la chaleur en présence d'une solution de cochenille, on obtient une teinture grenat foncé, comme si l'on avait opéré sur un tissu véritable. Les substances albuminoïdes peuvent donc servir de pré-

paration propre à faire adhérer sur les divers tissus les matières colorantes, tout comme le peuvent faire les matières minérales que nous avons déjà passées en revue.

Il ressort des essais de M. Kuhlmann que les matières azotées coagulables sont très-énergiques pour fixer sur les tissus, dans toutes les conditions d'insolubilité désirables, les oxydes métalliques, même de ceux dont les sels ne se décomposent que très-difficilement au contact des étoffes. Des expériences comparatives, faites par exemple avec l'acétate d'alumine, le chlorure de manganèse, le sulfate de zinc, le sulfate de cuivre, le sulfate de protoxyde de fer, le perchlorure de mercure et le chlorure de platine, ont fourni les résultats suivants, mis en contact avec la décoction de bois de Brésil et la garance. Je les réunis, d'après M. Kuhlmann, dans le tableau suivant (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIII, p. 932).

NATURE de la préparation.	BOIS DE BRÉSIL.		GARANCE.	
	Coton naturel préparé par le sel avant teinture.	Coton albuminé	Coton naturel.	Coton albuminé.
Eau pure	rouge violacé pâle.	rouge violet foncé.	rougeâtre.	rougeâtre.
Acétate d'alumine	rouge brun.	rouge violet foncé.	rouge brun.	plus nourrie.
Chlorure de manganèse .	giroflé.	giroflé noir.	violet sale.	plus foncée.
Sulfate de zinc.	rouge violet clair.	violet foncé.	violet terne.	plus foncée.
Sulfate de cuivre.	rouge violet clair.	violet foncé.	violet brun.	violet brun.
Sulfate de protox. de fer.	rouge violet.	noir violacé.	violet foncé.	plus foncée.
Perchlorure de mercure.	giroflé.	noir à reflet rouge.	giroflé brun.	beauc. plus foncée.
Chlorure de platine . . .	rouge brun sale.	noir plus foncé.	brun clair.	plus rouge.

De tous ces essais on peut tirer cette conclusion, que la pratique ne manquera certes pas d'utiliser prochainement, que l'albumine, étant appliquée d'une manière uniforme à la surface des tissus de coton, peut servir d'une bonne préparation pour y fixer les couleurs de la garance et du bois de Brésil; qu'elle convient mieux encore pour faire adhérer divers oxydes avec lesquels elle forme des combinaisons insolubles. Dans la teinture proprement dite, les tissus chargés de ces préparations absorbent les couleurs avec plus de facilité que si le mordançage avait eu lieu, soit avec l'albumine seule, soit avec les sels métalliques pris isolément.

Matières gélatineuses. — Certaines matières qui, par leurs propriétés générales, rappellent la gélatine, possèdent des caractères semblables. Lorsqu'on prépare quelques tissus au moyen de la gélatine, il convient de la fixer, en la coagulant au moyen du tanin. M. Kuhlmann, auquel on doit ces recherches intéressantes, a pu constater que la gélatine, en permettant de fixer très-abondamment le tanin sur des étoffes données, peut intervenir d'une manière très-efficace dans la teinture en noir ou en gris par les sels de fer. Les couleurs ainsi préparées possèdent la plus grande solidité.

Matières tannantes. — Des résultats analogues ont lieu lorsque inversement on fixe des matières qui jouissent des propriétés du tanin avec une immersion dans de l'eau chargée de gélatine. Ce dernier procédé trouve une application très-heureuse dans les teintures en noir, en produisant une combinaison avec le tanin et l'oxyde de fer. Le tanin seul intervient encore avec une étonnante énergie pour fixer sur les étoffes l'acétate d'alumine qu'il décompose facilement, et pour obtenir des nuances excessivement nourries.

Matières grasses. — Le véritable type des mordants organiques doit être choisi dans les huiles fixes dont on se sert pour la préparation des teintures qu'on nomme rouge turc ou rouge d'Andrinople. Mais toutes les huiles fixes ne sont pas également propres à donner de bons résultats, c'est-à-dire des nuances vives et suffisamment foncées.

On doit à M. Pelouze d'excellentes recherches sur cet objet; nous les présenterons ici presque textuellement.

Les huiles employées généralement pour la fabrication du rouge d'Andrinople sont des huiles d'olive provenant, pour la plus grande partie, des États du Levant, de l'Italie ou du midi de la France. On les distingue des autres corps gras par la dénomination d'*huiles tournantes*, qui rappelle la propriété qu'elles présentent, étant mêlées à de faibles dissolutions alcalines, de produire une émulsion lactescente. Une huile de cette nature est d'autant plus estimée, que cette émulsion est plus parfaite, et que sa partie grasse est plus de temps à se séparer du liquide aqueux. Pour distinguer une huile tournante d'une huile ordinaire ou flambante, il suffit d'en laisser tomber une ou deux gouttes dans un verre à expériences, en partie rempli d'une solution de soude caustique marquant 1 1/2 à 2 degrés. La première devient opaque, la seconde reste transparente. C'est le procédé que suivent ordinairement les industriels qui vendent ou qui achètent les huiles tournantes; ils jugent, d'après le plus ou moins d'opacité des gouttes oléagineuses, si la propriété qu'ils recherchent est plus ou moins développée dans l'échantillon d'huile soumis à l'essai.

Les huiles propres à la fabrication du rouge turc sont d'un prix assez élevé; on a donc tenté de leur substituer des huiles de qualité inférieure et d'une valeur vénale beaucoup moindre, en les mêlant au jaune d'œuf, en les traitant par l'acide nitrique, etc.; mais il paraît que ces essais n'ont pas été suivis de résultats industriels, puisque l'industrie des toiles peintes en rouge d'Andrinople continue toujours à consommer des quantités considérables d'huile d'olive naturellement tournante.

M. Pelouze a démontré que ces huiles naturellement tournantes ne sont autre chose que des mélanges d'un corps gras neutre avec un corps gras acide. En effet, lorsqu'on traite par l'alcool les huiles d'olive tournantes, quelle que soit leur provenance, elles lui cèdent toutes une quantité notable d'acide oléique et margarique. La proportion de ces acides varie de 5 à 15 pour 100; on retire également ces acides des mêmes huiles en faisant chauffer celles-ci pendant quelques minutes avec un alcali.

L'huile d'olive ordinaire, celle qui sert aux usages de la table, ne contient pas d'acide gras ou du moins n'en contient que des quantités insignifiantes; il est facile de s'en assurer par l'épreuve que nous venons d'indiquer. Or, si nous rappelons que les huiles pures

s'obtiennent par la division et la compression immédiate des olives arrivées à leur point de maturité, et que le remaniement des tourteaux, la fermentation des olives en tas, ou toute manipulation qui a pour effet de multiplier les points de contact de l'huile avec les matières qui l'accompagnent et de prolonger ce contact, ont pour résultat certain l'acidification de l'huile, nous verrons réunies dans la pratique toutes les conditions les plus favorables à la transformation de l'huile vierge en huile tournante (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XL, p. 605, et t. XLII, p. 1196).

Ces faits sont d'ailleurs prouvés d'une manière absolue par les observations suivantes :

On trouve depuis quelques années, dans le commerce, des huiles de diverses espèces également propres à la fabrication du rouge turc. Ces dernières sortent de la maison de MM. Boniface frères, de Rouen, la seule en France qui sache préparer des huiles artificielles tournantes. Ces fabricants n'ont pas fait connaître les procédés à l'aide desquels ils arrivent à ce résultat important. Mais on peut prouver que les huiles provenant de l'usine de MM. Boniface contiennent des proportions très-notables d'acide oléique et d'acide margarique.

M. Chevreul a fait, il y a plus de vingt ans, une observation qui cadre avec cette manière de voir ; il a extrait du coton teint en rouge d'Andrinople deux matières huileuses, l'une neutre au tournesol, l'autre qui le rougit et qui est formée d'acides oléique et margarique, c'est-à-dire des mêmes acides qui se forment spontanément dans les huiles par le contact des substances qui les accompagnent dans leurs graines.

Si l'huile d'olive tournante est presque exclusivement employée dans la fabrication du rouge turc, cela tient surtout à ce que les olives se prêtent mieux que les graines oléagineuses à la réaction qui donne naissance aux acides gras ; aujourd'hui que le rôle de cette huile est parfaitement connu, rien ne semble plus facile que de la remplacer avec économie par des huiles à bas prix, telles que celles d'œillette, de sésame, de colza, de palme, etc. Il suffit de broyer les graines ou les amandes qui les contiennent et de les abandonner un certain temps à elles-mêmes avant d'en extraire l'huile. Un second moyen plus simple encore consiste à mêler directement aux huiles ordinaires quelques centièmes de leur poids d'acide oléique et margarique provenant des fabriques de bougies stéariques. Ce moyen a réussi d'une manière complète entre les mains de M. Steiner, fabricant de toiles peintes à Manchester. Personne en Europe ne fabrique autant de rouge turc que cet habile industriel, et personne n'était mieux placé que lui pour juger du mérite du mélange artificiel d'huile ordinaire et des acides gras indiqués.

La fabrication française est d'ailleurs aussi sur le point de tirer parti des travaux de M. Pelouze. MM. Henry et fils à Bar-le-Duc ont répété ces essais et sont parvenus à des résultats pratiques. « La proportion de l'acide oléique qu'il convient d'ajouter aux huiles ordinaires varie suivant les huiles ; si 100 parties d'huile exigeat, pour tourner, 5 parties d'acide oléique, d'autres échantillons en demandent jusqu'à 15, tandis que 2 pour 100 suffisent pour quelques-uns ; l'expérience seule peut indiquer la proportion exactement convenable, car un excès d'acide oléique ramène l'huile ordinaire à ses propriétés primitives. Ils ont remarqué que les huiles, pour être de bonne nature, ont besoin d'avoir subi préalablement un certain degré d'épuration et que les huiles brutes ainsi préparées se coupaient moins bien avec une même lessive de soude. »

L'époque très-prochaine à laquelle les huiles grasses communes, autres que les huiles d'olive, prendront leur place dans l'industrie des toiles peintes m'engage à présenter ici le résumé d'expériences qui font connaître les circonstances les plus convenables à l'acidification des matières grasses. Je laisse parler ici M. Pelouze, l'éminent chimiste auquel on doit l'étude de ces phénomènes.

Nous ne parlerons pas ici de l'altération lente que les matières grasses éprouvent au contact de l'air ; cette altération, encore aujourd'hui fort obscure, semble d'ailleurs ne pas être liée d'une manière immédiate avec le dédoublement de la matière grasse en acide et glycérine ; elle est accompagnée d'une absorption d'oxygène et d'un dégagement d'acide carbonique qui font admettre une sorte de combustion lente, bien éloignée des phénomènes de saponification. Les faits que nous allons exposer font pressentir la transformation des huiles ordinaires en huiles propres à la confection du rouge d'Andrinople : ils décèlent le dédoublement très-net des corps gras en acide gras et glycérine sans que l'air intervienne dans la réaction.

« Lorsque les graines et les diverses semences oléagineuses sont soumises à la division qui brise les cellules et met en contact intime les substances dont elles se composent, les corps gras neutres que contiennent ces cellules se changent en acide gras et en glycérine.

« Il se passe ici quelque chose d'analogue à ce qu'on remarque dans le raisin, la pomme, et dans beaucoup d'autres fruits dont le sucre se transforme aussitôt qu'on déchire les cellules qui l'isolent du ferment en alcool et en acide carbonique. Des graines de colza, de lin, de moutarde, d'œillette, de pavots, d'arachide, de sézame, de cameline, de camomille ; des noix, des noisettes, des amandes douces, des amandes amères ont été successivement broyées dans un mortier ; l'huile retirée immédiatement soit par la pression, soit par l'éther et la benzine ne contenait pas ou ne contenait que des traces d'acide gras.

« Une certaine quantité de la plupart des espèces des graines ci-dessus désignées sous des poids variant de 2 à 6 kilogrammes ont été réduites en farine et renfermées dans des bocaux bien bouchés. Au bout de quelques jours, ces farines contenaient toutes des quantités notables d'acide gras et de glycérine qui augmentaient incessamment.

« Ainsi encore, des noix réduites en pâte ont donné, sous l'influence d'une température de 12 à 25 degrés, après cinq jours, 9 p. 100, et après huit jours 15 p. 100 d'acide gras.

« Dans l'huile de sésame on a trouvé, après huit jours, 6 p. 100 ; après un mois, 17 ; après trois mois, 47 pour 100 d'acide gras. Les huiles d'œillette et de pavot se sont comportées à peu près de la même manière.

« Les amandes douces, après trois semaines, ont donné de l'huile contenant moins de 4 p. 100 d'acide gras ; l'huile d'arachide, au bout d'un mois, en contenait 6 p. 100, après trois mois, 11 p. 100. La graine de lin et celle de colza, après trois semaines, fournissaient une huile contenant 5 à 6 p. 100 d'acide.

« La saponification dont il est ici question paraît varier d'ailleurs, non-seulement avec la température, mais encore avec les quantités de graines employées ; l'huile d'œillette est celle qui fournit le plus d'acide gras fourni spontanément ; une huile provenant d'une graine en poudre contenait jusqu'à 85 à 90 p. 100 d'acide gras. »

Gluten. — D'après M. Walter Crum, on augmente l'affinité du coton pour les matières colorantes, telles que l'orseille, l'acide picrique, la pourpre française, l'indisine, ou la combinant, si ce terme est conve-

nable, avec le gluten des céréales ; la préparation s'obtient de la manière suivante : Le gluten, abandonné dans des vases appropriés jusqu'à ce qu'il soit devenu mucilagineux, est complétement liquéfié ; le liquide saturé par une solution de carbonate de soude précipite le gluten modifié; 5 kilogr. de gluten exigent 500 à 550 grammes d'une solution d'une densité de 1,15 ; le précipité gluant et élastique est lavé à trois reprises avec un litre d'eau pure, puis mis à dissoudre de nouveau dans 434 grammes d'une solution d'une densité égale à 1,080. Le gluten se transforme de la sorte en un liquide mucilagineux qu'on peut étendre à consistance convenable pour l'impression à la planche ou l'impression au rouleau. L'expérience a fait voir que dans ce dernier cas on l'étend ordinairement pour les quantités indiquées de 3500 grammes d'eau de bonne qualité. Les fils ou tissus de lin et de coton sont mis en contact avec cette liqueur, et séchés ou vaporisés, soit exposés dans un courant d'air humide et chaud : on lave et on dégorge ensuite.

Après avoir subi cette préparation, les fibres textiles peuvent contracter une adhérence suffisante avec les matières qui ne teignent que très-mal l'orseille, la pourpre française, le violet d'aniline ; quand on opère par voie d'impression au moyen de ces mêmes couleurs, on vaporise une seconde fois.

Les premiers essais faits pour animaliser le coton étaient fondés sur l'emploi du gluten brut. On se bornait alors à laisser le gluten brut se liquéfier le plus possible, puis on le mélangeait avec le tiers de son poids d'une dissolution de soude caustique d'une densité de 1,080. La liqueur mucilagineuse ainsi préparée servait directement, mais elle restait infidèle dans bon nombre de circonstances.

Toutes les considérations qui précèdent, et sur lesquelles nous croyons inutile de revenir, nous ont fait connaître les diverses préparations auxquelles on soumet les fils ou les tissus, pour les rendre propres à fixer les matières colorantes. Nous avons vu qu'on donnait le nom de mordants à ces diverses préparations, qu'elles soient de nature organique ou de nature inorganique. Occupons-nous actuellement des matières colorantes, et, pour généraliser l'étude des phénomènes de teinture, considérons les matières tinctoriales dans leur nature, dans leurs rapports avec la laine, la soie, le coton, le lin et le chanvre, dans leurs caractères d'ensemble, dans leurs propriétés chimiques, dans les méthodes applicables non-seulement à leur préparation, mais encore à la détermination de leur valeur commerciale.

§ VII. DES MATIÈRES COLORANTES

considérées dans leur nature, leur origine, leur préparation, etc.

Lorsque l'homme sut faire, pour se vêtir, quelques tissus grossiers, il dut chercher à décorer ces vêtements par l'application de matières colorées ; certes il y a loin des premières tentatives de cet art de la teinture aux temps historiques, aux merveilles qu'il peut étaler actuellement aux yeux du consommateur. Les progrès de la chimie ont assurément créé d'immenses ressources, comme nous pourrons en juger par la suite de ces études : mais comme plusieurs matières colorables sont d'un emploi très-simple, il est assez permis de regarder l'époque de leur application première comme très-reculée.

Hâtons-nous de le dire, il n'a fallu rien moins que toute l'influence des sciences chimiques pour faire de l'art de la teinture un corps de doctrine basé sur des expériences variées, exactement observées et scrupuleusement discutées.

Nature des matières colorantes.

La nature organique nous offre à l'étude un grand nombre de matières colorées ; la nature minérale en présente de même un nombre assez considérable ; parmi les premières, quelques-unes sont devenues d'un emploi général, soit en raison de leur solidité, soit à cause de l'éclat et de la richesse de leur nuance, soit enfin par leur bas prix et par la facilité de leur application industrielle.

Les couleurs minérales ont aussi quelquefois des teintes fort brillantes qu'il faut employer toutes les fois qu'on le peut ; mais cette substitution des principes minéraux colorés aux principes organiques n'est pas toujours heureuse. Ceux-ci jouissent généralement, en effet, d'une transparence qui surpasse beaucoup celle des substances minérales. Ces dernières couleurs ont, en effet, l'inconvénient de couvrir, et ce qu'on recherche dans la peinture à l'huile devient un inconvénient grave dans la teinture des étoffes, puisque ces matières masquent, par leur opacité, le brillant naturel du tissu. On n'a guère recours aux couleurs minérales que pour la teinture du coton qui ne possède pas par lui-même un très-grand éclat.

Matières d'origine minérale. — Nous ne nous occuperons ici que des couleurs organiques ; les substances colorantes minérales insolubles, pour être d'une bonne application sur les fils et les tissus, s'obtiennent en général par double décomposition effectuée toujours sur l'étoffe même ; leur préparation et leur étude rentrent d'une manière générale dans le cadre des traités de chimie pure. Il nous suffit de citer le sulfure d'antimoine, le chromate de plomb, les sulfures d'arsenic, les iodures de mercure pour faire comprendre la variété de nuances qu'on peut emprunter aux matières d'origine minérale.

Matières colorantes d'origine organique. — Les matières colorantes dont nous allons présenter l'histoire sont répandues dans le commerce sous le nom de *matières tinctoriales*. Elles sont tantôt des êtres organisés, comme le kermès, la cochenille ; tantôt des parties de végétaux, la racine de garance, l'écorce de bois jaune, les bois de Brésil ou de Campêche, la fleur du carthame ; tantôt le résultat de certaines opérations qu'on a fait subir à des matières végétales, à certaines plantes, comme l'indigo, le pastel, le tournesol, l'orseille ; à certains liquides d'origine variée, comme l'aniline, qui fournit des nuances violettes ou rouges, l'indisine et la fuchsine. On ne doit les considérer, à juste titre, que comme des éléments de teinture complexes dans leur essence, dont on doit séparer la véritable matière colorante, la seule utile dans la pratique.

Dans certains cas, la matière colorée se trouve naturellement formée dans la matière colorante brute, ou dans l'extrait qu'on en prépare ; dans d'autres cas, au contraire, la matière tinctoriale ne contient qu'un principe immédiat colorable. On a pu, par des recherches savantes, isoler un grand nombre de ces principes, tant colorables que colorés, et nous devons dire que c'est la voie la plus fertile que l'industrie puisse jamais suivre pour obtenir des perfectionnements nouveaux dans cet art déjà si perfectionné.

Les recherches de MM. Chevreul et Robiquet ont ouvert la carrière, et fourni des méthodes dont la pratique s'est bien vite emparée. D'autre part, l'étude des diverses matières organiques, nous dévoilant leurs tranformations, a conduit à la production immédiate de principes colorés inconnus, et que les arts chimiques préparent aujourd'hui pour les besoins de la teinture.

Nous compléterons actuellement ces données générales par le tableau qui suit contenant l'indication des principales substances tinctoriales et leur désignation dans le commerce.

MATIÈRES TINCTORIALES du Commerce.	DÉSIGNATION SCIENTIFIQUE ET SUBSTANCES desquelles elles dérivent.	PRINCIPES COLORANTS PURS qu'on en a extraits.	COULEURS qu'on en obtient.
1. Cochenille, insecte du	cactus coccinilifer.	carmine.	
2. Kermès, insecte du . .	quercus coccifera.	carmine.	
3. Laque-laque, résine produite par le	coccus ficus.	carmine.	rouge.
4. Laque-Dye.	coccus lacca.	carmina.	
5. Racine de Samadra. . .	samadra indica.	samédérine colorable. . . . . samédérine colorée.	rouge pourpre.
6. Racine de grémil. . . .	lithospernum arvense. . . .	lithosphermine.	rouge.
7. Garance.	rubia tinctorum. . . . . . . rubia cordifolia. . . . . . . rubia perigrina.	alizarine. . . . . purpurine. . . . . xanthine.	rouge. rouge. rouge.
8. Bois du Brésil.	cæsalpina brasiliensis. . . .	brésiline colorable. . . . . . brésiline colorée.	rouge.
9. Bois de Santal.	pterocarpus santalin.	santaline.	rouge.
10. Bois d'amaranthe. . . .	pale merade.	amaranthine colorable. . . . amaranthine colorée.	rouge pourpre.
11. Tiges du sorgho. . . .	sorghum saccharatum. . . .	sarghine.	rouge.
12. Graine de peganum. . .	peganum harmala.	harmaline colorable. . . . . harmaline colorée.	rouge.
13. Safranum (fleurs du) . .	carthamus tinctorius.	acide carthamique.	rouge.
14. Carmin de pourpre du	guano, acide urique.	murexide.	rouge.
15. Rouge de goudron. . .	goudrons de bois (créosote). . goudrons de houille.	acide rosolique.	rouge.
16. Rouge d'aniline.	aniline, produit de la décomposition de la nitrobenzine, de la distillation des goudrons, etc.	acide fuchsique { fuschine. . . azaléine. . . cristallinéine	rouge rosé.
17. Orcanette.	anchusa tinctoria.	anchusine.	violette.
18. Violet d'aniline.	aniline oxydée par le bichromate de potasse, etc.	indisine, harmaline . . . . . roséine, purpurine, violine. .	violet.
19. Orseille de terre. . . .	variola dealbata.	lécanorine formant : l'orcine colorable. . . . . . . l'orcéine colorée. . . . . . . l'orcéinate d'ammoniaque. . .	violette.
20. Orseille des Iles. . . .	lichen rocella.		
21. Orseille des murailles. .	lichen tartareus.		
22. Pourpre française . . .	orseille faite à chaud.	métorcéinate calcaire.	violet.
23. Indigo (fécule)	indigofera, polygonum tinctorium.	indigotine colorable, indigo blanc. . . . . indigotine colorée, indigotéine	bleu.
24. Carmin d'indigo. . . .	indigo traité par l'acide sulfurique.	sulfoindigotate.	bleu.
25. Bois de Campêche. . . .	hematoxylon campechianum .	hématine colorable . . . . . hématine colorée.	violet bleu.
26. Mauve noire.	malva sylvestris.	malvine.	bleu gris.
27. Vert des feuilles. . . .	matière colorante des feuilles.	chlorophille { phylloxanthine. phyllocyanine. .	jaune. bleu.
28. Chardon.	cinara scolymus.	cinarine.	vert.
29. Vert de Chine, lo-kao.	nerpruo, rhamnus	. . . .	vert bleu.
30. Quercitron, écorce du. .	quercus tinctoria.	quercitrin	jaune.
31. Bois jaune.	morus tinctoria.	morin colorable . . . . morin coloré.	jaune.
32. Gaude, tiges du	reseda luteola.	lutéoline. . . . . chrysorhamnine.	jaune d'or. jaune.
33. Fustet.	rhus cotinus	fustine	jaune.
34. Sarasin.	polygonum fagopyrum. . . .	rutine. . . . . crocine	jaune. jaune.
35. Gardenia	gardenia grandiflora.	crocétine.	jaune.
36. Graine de Perse	rhamnus tinctoria.	rhamnine . . . . xanthorhamnine.	jaune. jaune fauve.
37. Curcuma, racine du . .	curcuma longa et rotunda. .	curcumine	jaune.
38. Rocou (pâte).	bixa orellana	bixine. . . . . bixéine	jaune. jaune orange.
39. Acide picrique.	acide phénique, huile de houille traitée par l'acide nitrique	acide picrique	jaune.
40. Baies de Sambucus. . .	sambucus ebulus.	. . . .	noire.

La dernière colonne définit la substance utile qui a fait le sujet des études spéculatives de la science. Nous commencerons par les matières rouges, nous finirons par les matières jaunes. Nous intercalerons quelques couleurs composées, violettes ou vertes, et quelques-uns des principes qui, quoique encore sans emploi dans la teinture, peuvent être introduits dans l'industrie, ou dont l'exemple peut être pris comme modèle dans l'examen des matières colorantes d'origine organique.

Composition chimique. — Considérées sous le point de vue de la constitution chimique, c'est-à-dire de la nature et du nombre des éléments simples qui les composent, et des rapports qui existent entre eux, toutes les matières colorantes isolées des matières tinctoriales contiennent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène; quelques-unes contiennent de l'azote; de ce nombre sont l'indigo, la fuchsine, l'indisine, etc. Généralement assez riches en carbone, elles se rapprochent des résines par plusieurs de leurs propriétés; cependant beaucoup d'entre elles, chargées d'oxygène, se rapprochent davantage des matières neutres; elles ne contiennent pas plus de carbone que le bois. Insistons cependant sur la grande variété de types qu'on rencontre, et qu'on doit rencontrer dans des matières d'origine et de coloration si diverses. Nous verrons, en effet, quelques matières colorantes se comporter comme de véritables acides (acide carthamique, fuschine), tandis que d'autres, au contraire, auront des tendances basiques et des réactions alcalines (hématine); plusieurs matières colorées n'ont de coloration qu'à l'état de sels parfaitement définis (bleu de Prusse, orcéinate d'ammoniaque). Quelques-unes, enfin, sont complétement inertes (indigotéine) et ne se combinent que lorsqu'on les a profondément modifiées dans leur nature intime.

Propriétés des matières colorantes.

Depuis longtemps on savait que la plupart des principes d'origine animale ou végétale sont très-altérables; ils le sont beaucoup moins qu'on ne le pensait, si l'on tient compte des circonstances complexes dans lesquelles on les place. On a vu que parmi les matières colorées, les unes, exposées à la chaleur, soutiennent une température plus élevée, lorsqu'elles n'ont pas le contact de la lumière, que lorsqu'elles y sont exposées. D'autres se conservent des années entières dans le vide lumineux ou dans l'air obscur, tandis qu'elles s'altèrent au bout de quinze jours au contact de l'air et de la lumière. Leur décomposition est le résultat de l'action simultanée de la lumière et de l'oxygène atmosphérique. D'autres, enfin, s'unissent aux alcalis solubles sans le contact de l'oxygène, et se conservent sans altération des mois entiers, lorsqu'elles s'altèrent très-promptement au contact de l'air.

Les expériences auxquelles M. Chevreul a soumis le curcuma, l'indigo, le rocou, le carthame, l'orseille, l'acide sulfindigotique et le bleu de Prusse, ont donné des résultats conformes aux observations qui précèdent. Toutes ces matières colorantes, considérées après leur application sur coton, sur laine et sur soie, ont été scrupuleusement étudiées et examinées sous le rapport des altérations qu'elles subissent de la part de la lumière, dans le vide sec, dans l'air sec, dans l'air saturé d'eau, dans l'atmosphère, dans la vapeur d'eau, dans le gaz hydrogène sec, dans le gaz hydrogène saturé de vapeur d'eau. La durée de l'exposition a été de deux ans. Les notions qu'on a déduites de ces expériences ont fixé les conditions dans lesquelles se font remarquer les différences de solidité d'une couleur donnée; nous y reviendrons, en définissant les couleurs du grand, du moyen ou de petit teint.

Chaleur. — Nous aurons à distinguer l'action de la chaleur sur la matière colorante elle-même ou dans ses rapports avec l'affinité de la fibre pour la substance tinctoriale, c'est-à-dire dans ses rapports avec l'art de la teinture. Nous commencerons en nous plaçant à ce dernier point de vue.

On sait que certaines matières, comme la zircone, l'oxyde de titane, préparées par voie humide, plusieurs sels comme les antimoniates chauffés dans les environs d'une température rouge, deviennent incandescents et perdent leur solubilité dans les acides. Quelques matières organiques, sans exiger, pour présenter des phénomènes analogues, une température aussi considérable, jouissent de propriétés semblables. L'exemple de l'albumine cuite paraît très-propre à faire comprendre l'action de la chaleur en teinture. Si l'on applique de l'albumine fraîche sur une étoffe quelconque, qu'on la fasse sécher et qu'on la traite par l'eau, elle se dissout; si l'on fait cuire, au contraire, l'albumine sèche, on la coagule par la chaleur; en vain on la traitera par l'eau, elle ne se dissoudra plus; cette simple modification, en quelque sorte physique, explique comment la chaleur peut fixer une matière soluble sur un tissu, soit que la matière cuite ait de l'affinité pour l'étoffe, soit qu'elle n'en ait pas. On comprend qu'un grand nombre de matières colorantes se rapprochent de l'albumine, lorsqu'on connaît les températures auxquelles ont lieu les phénomènes que M. Chevreul désigne sous le nom de phénomènes de coction ou de cuisson: ce premier ordre de faits acquiert encore de l'importance, si l'on songe que plusieurs substances, appliquées froides ou tièdes sur des tissus donnés, n'ont pas ou n'ont que peu d'affinité pour les tissus; lorsqu'on les présente chaudes, en élevant la température, l'affinité naît ou augmente d'intensité: la matière colorante est fixée: on conçoit, comme possible, le cas où la matière colorante complexe ne serait insoluble qu'après une certaine élévation de température; cette matière insoluble resterait alors fixée solidement à l'étoffe, soit que celle-ci eût réellement de l'affinité pour la matière colorée, soit qu'elle n'en eût pas.

Nous rappellerons ces principes lorsque nous parlerons de la fixation de couleurs dites *couleurs vapeurs*. Pour généraliser l'action de la chaleur, en tant qu'elle est capable de modifier l'affinité de l'étoffe pour la couleur, citons un fait qui prouve que ce qui se passe dans le fixage à la vapeur se reproduit dans la chaudière du teinturier. Nous avons déjà mentionné cette observation de M. Chevreul, qu'un sel cuivreux, fixé sur la laine, tache l'étoffe lorsqu'on la passe à la vapeur, parce que la base passe à l'état de sulfure par la réaction du soufre naturel de la laine. Si l'on plonge à froid de la laine dans la solution d'un sel de cuivre, on enlève, au moyen de l'eau froide, la majeure partie du sel qui s'est séché sur l'étoffe, après qu'on l'a retirée du bain de sel; mais en la plongeant dans l'eau bouillante, de bleuâtre qu'elle est, elle devient couleur de rouille, et dès lors on ne peut séparer la moindre quantité de sel de cuivre adhérent, par la raison qu'il s'est formé du sulfure de cuivre insoluble, absolument comme dans le cas où la laine, passée dans le sel de cuivre, a subi l'action de la vapeur.

Il n'est donc pas possible de nier l'influence de la chaleur pour fixer les couleurs sur les étoffes. Quelle est, en dehors de l'action de la chaleur sur la matière colorante en contact avec la fibre textile, l'action de la chaleur sur la matière colorante isolée? Essentiellement variable même sous l'influence d'une chaleur ménagée, tantôt la modification est permanente, tantôt au contraire elle n'est que passagère. La curcumine, matière colorante jaune du curcuma, et l'hématine, matière colorante du bois de Campêche, exposées l'une et l'autre à l'action de la chaleur, changent de nuance; mais ces modifications disparaissent par le refroidisse-

ment. La carthamine, au contraire, se te complètement altérée.

Sous l'influence d'une température élevée, les matières colorantes organiques, de même que toutes les substances non minérales, sont altérées; leurs éléments se dissocient pour former des groupements plus simples, dont la nature se rapproche d'autant plus des matières minérales que la température de leur décomposition se trouve plus élevée. Sous l'influence d'une chaleur ménagée quelques-unes entrent en vapeur, et se condensent sous forme cristalline. L'alizarine, matière colorante rouge de la garance, est dans ce cas; quelques-unes sont volatiles par elles-mêmes, d'autres exigent le concours d'une vapeur inerte; l'indigotéine, matière colorante bleue de l'indigo, dans les circonstances de sa vaporisation se trouve entraînée par les produits qui résultent de la décomposition d'une partie de la substance mise en expérience.

Lumière. — Dans certaines conditions, la chaleur et la lumière se comportent de même en altérant, l'une et l'autre, la matière colorante. MM. Gay-Lussac et Thénard ont cherché comment se comportent différentes matières colorantes dans l'air humide et dans l'air sec sous l'influence de la lumière, et dans le même milieu sous l'influence de la chaleur.

La carthamine, matière colorante rose du safranum qui, décomposée par la lumière, devient d'un blanc sale, subit la même altération sous l'influence de la chaleur, lorsqu'on maintient la température à 160 degrés pendant une heure.

L'hématine, extraite du bois de Campêche, décomposée par la lumière, devient rousse, et subit la même altération après une heure et demie sous l'influence de 180 degrés. La couleur rouge de la Brésiline qu'on extrait du bois de brésil, et qui disparaît presque complètement sous l'influence de la lumière, disparaît de même lorsqu'on la maintient pendant deux heures à 190 degrés. La couleur orange du curcuma, devenue rouille sous l'action de la lumière, prend la même nuance après une heure et demie de contact avec l'air à la chaleur de 200 degrés.

La lutéoline, matière colorante de la gaude qui prend à la lumière un ton ocreux, s'altère de la même manière au contact de l'air sec et de la chaleur quand on maintient la chaleur à 210 degrés pendant deux heures et demie.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, M. Chevreul a répété les expériences de MM. Thénard et Gay-Lussac en les étendant et les modifiant. Comme les résultats auxquels il est parvenu démontrent d'une manière incontestable qu'on ne saurait expliquer les phénomènes de la teinture en faisant abstraction de l'affinité de la matière colorante pour le tissu, nous les indiquerons en parlant de la solidité des couleurs quand nous exposerons les méthodes de la teinture proprement dite. Nous nous bornerons à dire ici que si les observations du savant directeur des Gobelins ne confirment pas en tout point celles de ses devanciers, les différences s'expliquent par les différences de température auxquelles les divers expérimentateurs ont fait leurs essais. On sait que plus la température est élevée, plus on s'expose à déterminer des réactions secondaires entre les divers éléments de la matière colorante généralement complexe. Une infinité de causes étrangères viennent d'ailleurs s'ajouter à celles que provoquent directement la chaleur et la lumière; ces modifications ne dépendent pas tant encore des milieux dans lesquels l'expérience se produit que des substances accidentelles entraînées par la matière colorante elle-même. La earthamine pure, qui résiste assez bien lorsqu'elle est fixée par un tissu plus ou moins chargé de matières grasses, s'altère très-rapidement sous la seule influence de l'air ordinairement chargé de quelques traces d'ammoniaque.

Quoi qu'il en soit, on ne saurait admettre, sans exagérer la portée de ces résultats, que la lumière et la chaleur agissent seulement d'une manière directe; il est beaucoup plus rationnel de regarder les altérations observées comme résultant des réactions chimiques qui s'accomplissent soit entre les éléments de la matière colorante et ceux qui sont introduits par l'étoffe, ou la matière colorante elle-même. Nous ne pouvons perdre de vue que l'étoffe colorée est une molécule excessivement complexe qui se forme, par la réunion de la fibre, des préparations dont elle est chargée, de la matière colorante et de tous les éléments étrangers fournis par les matières principales mises en présence.

L'action de la lumière est quelquefois utile.

Les anciens employaient la lumière comme agent de coloration; ils la faisaient agir sur des tissus imprégnés de sécrétions de coquillages pour obtenir la pourpre de Tyr que nous formons aujourd'hui de toutes pièces au moyen de l'alloxane ammoniée.

Les teinturiers des Indes exposent à la lumière leurs tissus imbibés d'émulsions; les teinturiers en rouge ont recours à ce moyen qu'ils combinent à la chaleur. L'action de la lumière solaire sur les dérivés des huiles est telle qu'en faisant agir isolément certains rayons du spectre sur des résines ou des essences oxydées ou nitrées, on détermine une variété considérable de composés colorés. On sait que l'un des rouges du Laurent se produit sous l'influence des rayons solaires sur les thyonaphthamates. M. Jules Persoz vient de faire voir qu'avec l'aide de la chaleur, la lumière qui conserve à peu près intact l'acide nitrocuminique transforme cet acide en une magnifique couleur rouge. Cette métamorphose, qui ne s'opère que sur l'acide après l'insolation, s'effectue avec une puissance remarquable sur le tissu, lorsqu'on dissout l'acide nitrocuminique dans l'ammoniaque et qu'on épaissit à la gommeline pour imprimer un tissu de coton, et qu'on passe ensuite en acide nitrique faible pour fixer l'acide nitro-cuminique; l'étoffe exposée directement aux rayons solaires, puis chauffée sur un cylindre chaud, laisse voir une impression d'une magnifique nuance écarlate. Nous verrons plus loin l'action de la lumière sur la matière colorante remarquable dont les Chinois ont fait emploi pour l'obtention de la couleur qu'on désigne en Europe actuellement sous le nom de vert de Chine et qu'ils empruntent à certaines variétés de nerprun.

L'action de la lumière n'est pas toujours également efficace; elle dépend évidemment de l'intensité des rayons lumineux; son énergie doit être en outre attribuée soit à la présence de corps qui accélèrent l'altération, soit à l'influence de substances qui retardent physiquement la modification dont on poursuit l'étude.

Prouvons-le par des faits :

Une étoffe teinte en bleu de cuve, exposée pendant l'été sur le pré directement à la radiation solaire, éprouve une forte décoloration, tandis qu'en hiver la même étoffe subit une décoloration à peine sensible.

Un tissu teint uniformément en bleu se trouve considérablement altéré dans sa nuance par une exposition à la lumière, mais il résiste s'il a reçu postérieurement à la teinture une immersion dans un bain de chlorure d'étain.

Le rouge de garance fixé par l'alumine est beaucoup moins stable que lorsqu'on l'a fixé par l'alumine additionnée d'un sel d'étain.

Quelques observations précises, citées par M. Persoz, tendent à faire admettre que dans quelques circonstances l'action de la lumière sur les matières colorantes est essentiellement physique.

Une préparation d'alumine et de fer donne sur les tissus, avec le bois de Campêche, un noir très-brillant. Si l'on mêle au bois de Campêche du quercitron ou de la gaude susceptibles de fournir un élément jaune, on

obtient une teinture qui diffère très-peu de la précédente ; mais ces deux noirs, exposés à l'action de la lumière, sont loin de présenter le même degré de solidité. Celui qui contient du jaune est beaucoup plus résistant que celui qui n'en renferme pas. Et cependant les deux matières prises isolément présentent à peu près la même inaltérabilité. Or, si l'on admet que les matières colorantes absorbent ou réfléchissent inégalement les rayons lumineux et que la matière jaune absorbe ceux qui détruisent l'hématine, on peut expliquer, au moins dans certaines limites, les différences que présentent ces deux noirs.

Il est d'ailleurs prouvé que certains rayons, tels que le violet, par exemple, altèrent très-promptement un grand nombre de matières colorantes ; la lumière blanche seule avec insolation suffit pour altérer en quatre heures la plus belle nuance de rouge que nous connaissions, la fuchsine ; seize jours d'insolation la décolorent notablement, un mois le détruit complétement. La laine, la soie et le coton teints en fuchsine ont moins de solidité que la carthamine dans les mêmes conditions d'insolation et celle-ci moins encore que la cochenille, surtout lorsque cette dernière est en combinaison avec le sel d'étain.

Oxygène. — L'oxygène exerce sur les matières colorantes, comme sur les matières organiques d'origine animale et végétale, une action toujours prononcée, mais variable suivant l'état d'oxydation de celle-ci, suivant encore leur état d'isolement ou de mélange ; l'état de l'oxygène lui-même exerce une influence variable, car l'action est lente avec l'oxygène libre, active au contraire avec l'oxygène à l'état naissant, active encore avec l'air lumineux. M. Chevreul a fait voir en 1837 l'influence de l'oxygène atmosphérique dans la plupart des cas où les étoffes teintes avec les matières colorantes d'origine organique se décolorent par leur exposition à la lumière du soleil, en prouvant que ces mêmes étoffes se conservent des années entières dans le vide lumineux. Et tandis que certaines couleurs se détruisent complétement, d'autres peuvent se décolorer et reprendre spontanément leur nuance.

Le bleu de Prusse dans le vide lumineux se décolore en passant d'abord au blanc, puis à une couleur brune de terre d'ombre, mais il se recolore en bleu par le contact de l'oxygène.

On sait aujourd'hui que quelques couleurs, au contraire, peuvent gagner au lieu de perdre en intensité. Le jaune d'acide picrique sur laine a gagné pendant huit mois du jaune orange à l'orangé, montant vers le rouge. Sur soie l'effet est moins sensible.

En étudiant l'action de l'oxygène au point de vue le plus général, on voit qu'elle s'exerce tantôt sur un principe immédiat *colorable*, avec lequel ce corps se combine pour former un principe immédiat *coloré*, tantôt, au contraire, cette action s'exerce sur un principe coloré déjà, dont la nuance s'altère, se détruit plus ou moins en se transformant le plus souvent en un produit jaune ou brunâtre.

L'oxygène jouera donc deux rôles éminemment différents : utile, quand il concourt à la formation du principe coloré ; nuisible, lorsqu'il altère la matière colorée pour en faire disparaître la nuance. Les phénomènes qui se passent sans cesse sous nos yeux témoignent à chaque instant de ce double rôle. Les fleurs et les fruits ne nous montrent-ils pas constamment des colorations variées et vives à certaines époques qui disparaissent dans l'âge caduc. Une opinion fort ancienne avait regardé l'oxygène comme agent destructeur. Une étude approfondie des phénomènes de coloration présentés par les matières végétales a démontré qu'au moins sous l'influence vitale, influence au reste encore fort obscure, il faut admettre avec Fourcroy :

1° Que l'oxygène en combinaison avec les substances végétales en change la couleur ;

2° Que les modifications apportées aux dites couleurs varient avec les proportions d'oxygène absorbé ;

3° Que généralement les nuances les plus foncées deviennent claires et que l'extrême de celles-ci se trouve être la décoloration la plus complète ;

4° Que cette dégradation cependant n'a pas lieu dans toutes les matières végétales, comme l'avait annoncé Berthollet ;

5° Que plusieurs couleurs végétales rouges, violettes, pourpre, marron, etc., sont dues à des proportions diverses d'oxygène, mais qu'aucune de celles-là n'est entièrement saturée de ce principe ;

6° Que cette saturation complète donne le plus souvent des couleurs jaunes, qui sont les moins altérables de toutes ;

7° Que non-seulement les matières végétales colorées par l'oxygène changent de couleur suivant les proportions de ce principe, mais qu'elles changent aussi de nature et qu'elles se rapprochent d'autant plus de l'état résineux qu'elles sont plus voisines de la couleur jaune ;

8° Enfin que telle est la cause de l'altérabilité des rouges, des bruns et des violets tirés des végétaux ; car l'emploi du chlore donne un moyen de les fixer, de les rendre durables, en les imprégnant d'une certaine quantité d'oxygène, c'est-à-dire en imitant le procédé de la nature.

Pour étudier d'une manière complète l'action de l'oxygène sur les matières colorantes, il nous a paru convenable de diviser la question et de séparer les cas où l'oxygène agit sur la substance isolée de ceux où l'action se développe au contact des bases salifiables, ou des bases salifiables et de l'ammoniaque.

Le cas le plus simple est celui dans lequel l'oxygène pur est absorbé par la matière colorante isolée. Il y a généralement oxydation.

On sait qu'une toile trempée dans une cuve d'indigo reste jaune verdâtre tant qu'elle n'est pas au contact de l'oxygène, mais que dès qu'elle est soumise à l'action de l'air elle bleuit. L'indisine, matière colorante violette, extraite de l'aniline, dérivée de l'indigo, conserve les affinités de la molécule indigotique et donne des réactions en tout point comparables. L'indisine à l'état soluble est incolore ou légèrement verdâtre ; elle passe au violet pur par l'exposition à l'air. L'oxygène est bien évidemment dans ces deux cas la cause de la coloration. Il n'agit qu'en enlevant l'hydrogène que renferment les matières colorées ou non colorées. Le bois de Campêche mouillé perd sa couleur naturelle qui tourne à l'orange pour se transformer en une substance rouge violacée qu'on nomme campêche préparé.

La garance qu'on expose à l'air prend une couleur plus foncée que lorsqu'on la conserve à l'abri de l'air ; les sucs de pastel, de betterave, de sumac, se foncent en couleur lorsqu'ils vieillissent, par suite d'une absorption d'oxygène. La couleur est d'autant plus foncée que la dissolution est plus ancienne.

Quelques couleurs ne s'altèrent ou ne se forment que lorsque l'oxygène intervient en présence de matières alcalines. L'hématine, principe colorant du bois de Campêche, la brésiline, principe utile du bois de Brésil, la carmine, matière colorante de la cochenille, la matière colorante bleue de la violette, les matières jaunes qui colorent les fibres textiles ne présentent pas de colorations au contact des alcalis en dehors du concours de l'oxygène ; mais ces matières prennent de suite leurs colorations caractéristiques aussitôt qu'on fait intervenir le concours de l'air. Quant à la garance, elle se transforme en une matière peu soluble qui ne prend plus d'adhérence avec l'oxyde de fer : on comprend déjà le parti que l'art de la teinture a dû tirer de ces

diverses observations, puisque quelques-unes des matières les plus riches exigent, pour devenir utiles, le concours simultané de l'air et de certaines bases alcalines.

Quelques matières colorantes ne se développent enfin qu'en vertu de l'addition de l'azote aux principes non colorés contenus dans la matière tinctoriale. Les observations de Robiquet sur les lichens et sur l'acide gallique, celles de Heeren, Stas et Kane sur l'orcine démontrent d'une manière absolue ce fait important : que l'ammoniaque agit comme les bases fixes en présence de l'air ou de l'oxygène. Le phénomène le plus important qu'on puisse rappeler maintenant est évidemment la transformation de l'orcine, matière incolore peu soluble que contiennent les lichens, en orcéine, matière violette très riche et très-soluble, l'une des matières colorantes les plus remarquables.

Nous avons déjà fait pressentir l'importance du rôle que l'oxygène joue dans les opérations du teinturier, suivant qu'il s'exerce sur des matières colorables ou sur des matières colorées. Le rôle est surtout actif lorsque l'oxygène provient d'oxydes et d'acides métalliques réductibles qui abandonnent l'oxygène à l'état naissant. Le principe colorable peut être oxydé, c'est-à-dire transformé en une matière utile, de même qu'il peut être détruit ensuite par une action trop énergique ou trop longtemps prolongée. Les acides chromiques ou le bichromate de potasse, par exemple, exercent une action de cet ordre sur l'hématine. Nous citerons comme exemple la transformation remarquable du sulfate d'aniline, du sulfate de xylidine, du sulfate de cumidine, tous composés incolores, en indisine, magnifique couleur violette. Quelle que soit la véritable molécule qui fournisse le noyau de la combinaison, aniline ou toute autre molécule complexe, il faut admettre son oxydation par l'oxygène abandonné par l'acide chromique au moment de sa réduction en oxyde chromique; le liquide qui surnage renferme du sulfate de sesquioxyde de chrome. Nous avons présenté déjà l'explication de ce qui se passe dans le mélange lorsque nous avons étudié les préparations de chrome.

En présence des sels de cuivre, il se forme souvent avec les matières colorables des laques dont la constitution n'est pas parfaitement définie. Si nous mêlons le principe colorant de la garance avec l'acétate de cuivre, il se forme immédiatement un précipité coloré qui contient à la fois du cuivre, de l'oxygène, du carbone et de l'hydrogène, c'est-à-dire les éléments de la matière colorante, et qu'on peut considérer avec tout autant de raison ou comme une combinaison d'oxyde de cuivre et de la matière colorante, ou comme une combinaison de la matière colorante oxydée avec l'oxyde de cuivre à l'état d'oxydule, ou comme une combinaison de la matière colorante oxydée avec du cuivre entièrement réduit, ou bien enfin comme une combinaison dans laquelle le cuivre jouerait le rôle de copule. Cette dernière hypothèse ne serait pas la moins vraisemblable, car aucun des agents qu'on emploie ordinairement pour trahir la présence de l'oxyde de cuivre ne décèle cet oxyde dans le produit de la réaction. On peut admettre en principe que toutes les fois qu'un composé minéral oxydé, soit acide, soit basique, facilement réductible, se trouve en contact avec une matière colorante, il y a réduction. Il résulte du mélange deux composés nouveaux, un oxyde réduit et un principe coloré, ou un métal réduit et un oxyde supérieur qui peuvent rester combinés ou simplement mélangés. On explique ainsi, par exemple, la transformation de l'aniline en fuchsine par le nitrate de mercure; mais il faut admettre avec restriction cette hypothèse qui n'est pas d'accord avec la réaction de l'acide arsénique sur l'aniline : la couleur rouge se développe sans aucune réduction de l'acide arsénique, comme nous nous en sommes assurés MM. Persoz, de Luynes et moi. Un arrangement moléculaire nouveau peut résulter de la simple mise en présence des éléments qu'on considère. Quant à l'aniline, nous citerons ce fait bien inattendu de sa transformation en une matière rouge, qui ne le cède en rien comme éclat à la fuchsine, par le seul contact de cette substance avec le furfurol, huile volatile qu'on extrait du son.

Les mêmes réactions d'oxydation dont nous venons de parler ont lieu lorsqu'on met en contact des matières colorées avec les oxydes ou les acides réductibles. Mais, dans ce cas, si l'action est prolongée, les matières colorées peuvent être détruites sans que rien puisse les ramener à leur état primitif, c'est-à-dire à l'état de substances colorables. Dans le cas d'une action ménagée, la matière colorée peut être au contraire ramenée par des circonstances spéciales à son point de départ; c'est ainsi, par exemple, que l'indigo, que l'indisine incolore peuvent être obtenues au moyen de l'indigo bleu ou de l'indisine violette; mais l'indigo et l'indisine ne peuvent être transformés ni en indigo bleu, ni en indigo jaune blanc, ni en indisine primitive, lorsqu'on les a soumis à des agents oxydants puissants : la molécule primitive se trouve détruite. Cette destruction est surtout facile par l'emploi de l'oxygène à l'état naissant. On devra donc éviter, à moins de nécessité particulière, l'emploi des mélanges qui peuvent fournir de l'oxygène à l'état naissant; nous citerons en première ligne l'eau oxygénée, le chlore et l'eau, les acides chloreux et hypochloreux, un mélange d'acide chlorhydrique et de peroxyde de manganèse, le chlore et les hydrates de potasse ou de soude.

Tous ces mélanges sont employés dans l'industrie lorsqu'on veut enlever ou détruire une couleur; ils prennent le nom de *rongeants* lorsqu'on en fait usage pour faire naître *par enlevage* sur un fond uni des dessins blancs. Il est encore d'autres mélanges dans lesquels interviennent les corps analogues au chlore, comme le brome et l'iode, qui joueraient le même rôle; mais jusqu'à ce jour leur prix élevé rend leur emploi peu favorable, et leur action sur les matières colorantes est généralement plus faible que celle que peuvent exercer le chlore ou ses dérivés.

L'oxydation des matières colorantes donnerait lieu certainement à des observations utilisables par la pratique, si des recherches convenablement dirigées en faisaient comprendre toute la valeur. On pourrait, sous des influences déterminées, créer et des nuances nouvelles et des principes plus solides que ceux que nous connaissons aujourd'hui; malheureusement on ne sait pas encore dans quelles conditions exactes les matières colorées prennent tel ou tel état d'oxydation; on n'a jusqu'à présent enregistré que des changements trop brusques, qui ne permettent pas de mettre en lumière les résultats d'une oxydation lente et progressive. Le sucre de raisin, que nous pouvons assimiler aux matières colorantes, se modifie d'une manière remarquable au contact des sels d'oxyde de cuivre et de la potasse; il se forme de l'oxydule de cuivre : le sucre de canne, si voisin par ses propriétés et sa composition, se comporte d'une manière toute différente. Mais ce dernier, mis en contact d'un acide quelconque, prend de suite les caractères du sucre de raisin. Supposons que les modifications se trahissent par des modifications dans les nuances; de quelles ressources ne seraient-elles pas pour le teinturier, ces transformations acquises à si peu de frais! Cet exemple, que je choisis entre mille, donne une idée bien nette des avantages que pourrait procurer l'étude des matières colorantes dirigée dans la direction que j'indique ici. C'est en partant de ces principes qu'on est parvenu dans ces derniers temps à rendre solide la couleur extraite de l'orseille et qu'on a pu rendre encore moins altérable l'indigotéine par le

contact du principe colorant avec les chlorures d'étain, de mercure et l'acide arsénieux.

Chlore, brome, iode. — Le chlore, comme le brome et l'iode qui sont avec raison rangés dans la même famille naturelle, agit tantôt d'une manière directe, tantôt d'une manière indirecte. Nous avons envisagé déjà les propriétés de ce corps en présence de la matière colorante du lin dans les opérations du blanchiment; ce n'était évidemment qu'un cas particulier de l'étude plus générale que je vais exposer ici.

L'action du chlore sur les matières colorantes est indirecte; toutes les fois qu'elle s'exerce en présence de l'eau, il y a formation d'acide chlorhydrique et dégagement d'oxygène à l'état naissant. Il y a dans ce cas oxygénation; l'action se porte sur le principe colorable qui peut devenir coloré, ou sur le principe coloré qui peut être détruit par une oxydation trop avancée.

Le chlore agit directement toutes les fois qu'il n'y a pas intervention de l'eau; sous l'influence des rayons solaires l'action peut être nulle ou vive; elle se traduit suivant les cas par une fixation de chlore, ou par une élimination d'hydrogène à l'état d'acide chlorhydrique qui se dégage, ou par une élimination d'hydrogène à l'état d'acide chlorhydrique qui se combine avec la matière modifiée par la substitution du chlore à l'hydrogène; la substitution porte sur un ou plusieurs équivalents d'hydrogène.

Pour ne présenter qu'un exemple, nous citerons l'indigo, qui subit quelques transformations remarquables sous l'influence du chlore.

L'indigo bleu, finement broyé, soumis à l'action du chlore sec, à l'abri de la lumière solaire, ne s'attaque pas; sous l'influence de la lumière diffuse, il s'altère légèrement en formant de l'acide chlorhydrique. Il se détruit promptement, au contraire, sous l'influence d'une radiation très-vive. Sous l'influence du chlore humide en excès, l'indigo blanc passe successivement à l'état d'indigo bleu, puis d'indigo jaune; après cette dernière transformation, on ne peut pas ramener l'indigo sous sa forme primitive d'indigo blanc ou d'indigo bleu.

Le brome et l'iode agiraient, comme le chlore, sur les matières colorantes, colorées ou colorables.

Hydrogène. — Une étude complète de l'action de l'hydrogène ou des corps avides d'oxygène sur les matières colorantes conduirait assurément à des résultats pratiques aussi certains que celle que nous avons fait entrevoir au sujet de l'oxydation des mêmes substances. Dans l'état actuel de nos connaissances, des phénomènes de réduction, dans lesquels l'hydrogène semble jouer son rôle désoxygénant, permettent de faire revenir, à l'état soluble et non coloré, des matières colorées que leur insolubilité ferait éloigner des ateliers de teinture.

Quant à la théorie pure, aucune expérience ne semble prouver jusqu'à ce jour que l'hydrogène libre soit capable d'agir directement sur une matière colorante, soit en s'y combinant, soit en éliminant une certaine proportion d'oxygène sous forme d'eau, mais bien évidemment l'hydrogène à l'état naissant ou l'un de ses composés non oxygéné désoxyde certaines matières colorantes et forme avec elles des composés particuliers.

L'action de ces composés a surtout été suivie sur les principes colorés; il est bien probable que l'action ne s'exerce pas exclusivement sur ces derniers, que les matières colorables elles-mêmes sont modifiées dans des circonstances déterminées, et que les transformations qu'elles éprouvent pourraient être fructueusement introduites dans les ateliers de teinture. On ne saurait présenter d'ailleurs une explication plausible de certains phénomènes observés dans la pratique sans admettre que la matière colorable elle-même est profondément modifiée sous l'influence de certains agents réducteurs. Nous en trouverons la preuve en expliquant ce qui se passe dans les cuves montées à l'indigo. Généralement on peut accepter en principe que les substances colorées soumises à l'action des agents réducteurs sont réduites et forment des combinaisons d'un ordre à part, avec perte de tout ou partie de leur couleur propre.

C'est ainsi que des matières colorées se désoxydent ou s'unissent toujours à l'hydrogène ou l'une de ses combinaisons en changeant de couleur, lorqu'elles se trouvent en contact :

1° Avec des matières organiques en putréfaction, principalement dans les circonstances qui déterminent la fermentation muqueuse. L'indigo se réduit dans une cuve montée par de l'urine en putréfaction, il se dissout sous l'influence de l'ammoniaque qui joue le rôle de base, à l'état d'indigoture d'ammonium, par la même raison qu'en présence de la chaux il se fait de l'indigoture de calcium. La teinture de tournesol, renfermée dans un flacon à l'abri du contact de l'air, se couvre de moisissure en se décolorant. La couleur primitive reparaît sous l'influence de l'air. L'indigo mis en contact avec l'hydrosulfate d'ammoniaque se décolore promptement.

2° Le phosphore, l'arsenic, l'antimoine, l'étain en présence d'une base salifiable (potasse, soude, chaux) réduisent les matières colorantes.

3° Le zinc en présence de l'acide sulfurique et de l'eau.

4° L'éther, l'alcool et le même acide agissent comme réducteurs énergiques. Ce rôle des matières réductrices pourrait être considéré, d'après tous les chimistes, à deux points de vue différents. Pour quelques cas, les oxydes réducteurs avides d'oxygène s'empareraient de celui de la matière colorante; il en résulterait un composé moins oxygéné que le principe primitif. Dans d'autres cas, l'action ne serait pas immédiate, l'eau devant intervenir; il se dégagerait de l'hydrogène qui modifierait la nuance de la matière organique, tantôt en se combinant directement avec la substance colorée, tantôt en éliminant une certaine quantité d'oxygène à l'état d'eau. Il est évident qu'en vertu des caractères excessivement variés que présentent les matières que nous étudions, on peut trouver que sous l'influence d'un même réactif la réaction diffère beaucoup d'un corps à l'autre; des recherches délicates prouveraient que les deux hypothèses sont parfaitement admissibles, en fournissant des exemples à l'appui de chacune de ces interprétations.

De tous les composés réducteurs, deux surtout ont fixé l'attention d'une manière toute spéciale; ce sont l'acide sulfureux et l'hydrogène sulfuré.

L'action de l'hydrogène sulfuré a principalement été étudiée par M. Chevreul. L'hématine en contact avec l'acide sulfhydrique jusqu'à saturation devient jaune, et la solution mise à l'abri du contact de l'air pendant quelques jours perd sa couleur et se conserve intacte dans un flacon bien bouché; bouillie sur du mercure, dans le vide barométrique, elle perd de l'acide sulfhydrique et l'hématine reparaît sans altération, mais pour disparaître par suite d'une nouvelle combinaison qui s'effectue spontanément au moment du refroidissement. Si l'on neutralise à l'abri du contact de l'air l'hématine saturée d'acide sulfhydrique par un alcali fixe, l'hématine se sépare en combinaison avec la potasse, en même temps qu'il se forme du sulfure alcalin. Ces deux expériences ont prouvé que l'hématine se combine sans modification avec l'acide sulfhydrique.

Quant à l'acide sulfureux dont on fait usage pour blanchir la soie, la paille, la laine, nous avons dit qu'il n'est pas décolorant en même titre que le chlore, et

qu'il n'altère pas la composition de ces substances comme le font le chlore et l'oxygène. Il ne paraît pas qu'il y ait au delà d'une simple combinaison. C'est au moins ce qui résulte de ces anciennes expériences, sur l'interprétation desquelles tous les chimistes sont d'accord. Une rose rouge plongée dans l'acide sulfureux devient blanche en peu d'instants; mais placée sous une cloche remplie de chlore, elle reprend sa couleur primitive, en même temps que l'acide sulfureux se transforme spontanément en acide sulfurique. Une étoffe de laine ou de soie teinte en rouge au moyen de la fuchsine, placée dans un bain d'acide sulfureux, se décolore immédiatement. Le sirop de violette est décoloré par l'acide sulfureux : l'ammoniaque ramène au violet la coloration de la liqueur; le résultat final est un liquide vert provenant de l'action de l'ammoniaque sur le sirop de violette. L'acide sulfureux forme donc, au moins dans un grand nombre de cas, si ce n'est dans tous, une combinaison avec les matières colorantes : la coloration primitive reparaît lorsqu'on expulse l'acide sulfureux en l'engageant dans une nouvelle combinaison.

Carbone. — Le carbone, employé sous forme convenable, jouit de la singulière propriété de décolorer un bain de teinture quelconque, en rendant insoluble la matière colorante vis-à-vis de laquelle il se comporte comme en présence des gaz. Cette propriété très-développée dans le charbon, surtout le charbon poreux, se rencontre dans d'autres substances, principalement dans les oxydes métalliques en tête desquels il faudrait mettre les oxydes d'aluminium, de fer et de chrome, si nous n'admettions pas qu'il y a plus qu'une simple action de contact entre les oxydes que nous venons de nommer et les matières colorantes. M. Persoz fait remarquer que le pouvoir décolorant de ces oxydes paraît être en rapport avec la propriété qu'ils possèdent de se fixer aux tissus pour former des *mordants* dans le sens de l'expression consacrée.

Eau. — Lorsque les matières colorantes sont en contact avec l'eau, en tant que l'eau ne contient pas de gaz dissous, on remarque une action dissolvante variable avec la température, avec la nature du principe coloré, avec la facilité que possèdent les couleurs de se conserver intactes sans altération. L'eau, comme véhicule, doit donc être étudiée de près; elle dissout ou ne dissout pas les matières colorées; elle peut les altérer, et nous ne saurions oublier que nous avons posé comme principe absolu que dans les opérations de la teinture il était avant tout nécessaire de rendre soluble le principe dont on veut se servir pour teindre une étoffe donnée.

Les matières colorantes peu riches en oxygène, comme l'indigotéine, sont complétement insolubles dans l'eau. Celles qui sont plus oxygénées semblent au contraire plus solubles; l'alizarine et la lutéoline, qui contiennent 5 équivalents d'oxygène, sont assez peu solubles. La brésiline et l'hématine, qui contiennent plus d'oxygène que les précédentes, sont plus solubles : il ne faudrait néanmoins pas croire que la solubilité croît avec le degré d'oxydation : l'expérience, dans certains cas, prouve qu'une oxygénation qui rapprocherait la matière colorante de l'état résineux s'opposerait à sa solubilité dans l'eau.

L'action de l'eau comme véhicule est d'ailleurs modifiée pratiquement par celle des matières qu'elle charrie ou dissout communément; on ne se sert que rarement d'eau distillée dans l'industrie : est-elle, par exemple, chargée d'oxygène ou d'air atmosphérique, elle oxydera les matières colorantes, elle transformera l'indigo blanc en indigo bleu qui ne se dissout pas; est-elle chargée de certains sels, elle ne dissoudra pas diverses couleurs qui seraient parfaitement solubles dans l'eau pure : la teinture en carmin d'indigo, en garance, en gaude offre des faits à l'appui de ces observations curieuses.

A l'état de vapeur, l'eau se comporte d'une façon très-remarquable, et nous avons déjà fait ressortir ce que l'influence de la chaleur peut produire sur la tendance des matières colorantes à se fixer aux tissus. Dans certaines circonstances, cette influence deviendrait à peu près nulle, si le rôle de l'eau ne venait s'ajouter à celui de la chaleur dans l'application des couleurs dites *couleurs vapeurs*.

L'eau n'est plus aujourd'hui le seul véhicule dont on fasse usage.

Oxydes. — Nous négligerons ici les phénomènes d'oxydation et de réduction qui nous ont occupé déjà plus haut et nous chercherons à déterminer le rôle des bases au contact des diverses matières colorantes en usage dans l'art de la teinture.

Dans un grand nombre de circonstances les matières colorantes se combinent aux oxydes pour former de véritables sels, les uns solubles, les autres insolubles; tantôt la matière colorable seule jouit de cette propriété dont la matière colorée se trouve entièrement privée. A l'appui de cette observation, nous citerons l'indigo blanc qui se combine très-facilement à la potasse, à la soude, à la chaux, tandis que l'indigotéine (indigo coloré) ne contracte aucune combinaison. Lorsque la matière colorable se présente dans un état convenable, la combinaison est des plus faciles; elle s'effectue très-souvent à froid, toujours à chaud. On donne le nom général de *laques* aux combinaisons des matières colorantes avec les oxydes insolubles comme l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome.

Pour déterminer la combinaison des oxydes avec les matières colorées, dans le cas de principes également solubles, il suffit, à titre général, de mettre la matière colorable soluble en contact avec l'oxyde en question : lorsque l'oxyde n'est pas soluble la combinaison s'effectue toujours si l'oxyde est hydraté; les oxydes qui n'attirent pas la couleur sont ceux qui, sous l'influence de la chaleur ou de certaines circonstances, ont perdu toute solubilité dans les acides en même temps qu'ils ont abandonné leur eau d'hydratation. Pour fixer les idées, nous citerons les oxydes de fer, d'alumine et de chrome qui ne se combinent pas aux matières colorantes lorsqu'ils ont perdu leur eau d'hydrate par une circonstance quelconque, et qui se combineraient immédiatement avec les matières colorantes s'ils étaient à l'état de gelée.

La chaux, la baryte, la strontiane, l'oxyde de plomb jouissent aussi de la propriété de se combiner aux matières colorantes solubles et de dépouiller complétement les bains de teinture. Quant aux oxydes solubles, comme la potasse, la soude, l'ammoniaque, quelquefois même la chaux, elles forment des combinaisons solubles, à moins que ces éléments ne se trouvent en présence d'une dissolution saturée, et que l'excès de sel ne rende insoluble soit la combinaison formée, soit même la matière colorante.

S'il est facile d'obtenir une combinaison soluble de la matière colorante avec un oxyde convenablement choisi, rien n'est plus simple encore que de préparer les combinaisons insolubles. Nous trouvons à chaque pas, dans cette partie de la science qui nous occupe maintenant, l'application des règles les plus générales de la chimie minérale; elles conduisent à la précipitation de composés parfaitement définis d'une couleur et d'une composition invariables.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

1° Lorsque la matière colorante est soluble par elle-même on peut la mettre en présence d'un sel soluble dont on précipite la base au moyen d'un réactif plus puissant. La matière colorante est entraînée sous forme

de laque par l'oxyde précipité. Une dissolution de garance, mélangée d'alun, précipite par l'ammoniaque une laque de garance. Généralement cette méthode ne conduit pas à des composés parfaitement brillants

2° Lorsque la matière colorante est soluble par elle-même, elle peut être déplacée et précipitée par l'ébullition à l'état de sel lorsqu'on a mélangé la dissolution de matière colorante avec un sel de potasse ou de soude capable de former par la chaleur un sous-sel insoluble. C'est ainsi qu'en présence d'une dissolution de garance, une dissolution d'alun saturée à froid de carbonate de potasse ou de carbonate de soude, ou d'acétate de plomb se trouble déjà vers 60°, suivant son état de concentration, en entraînant la matière colorante de la garance.

3° Lorsque la matière colorante est encore soluble, on met en présence un sel basique qui forme à la fois un sel neutre soluble, et la laque se précipite par voie de double décomposition. L'acétate tribasique de plomb, par exemple, forme de l'acétate neutre qu'il est facile d'isoler par filtration de la laque plombeuse qui se sépare.

4° Lorsque la matière colorante existe à l'état de dissolution à la faveur d'une base soluble avec laquelle elle forme une combinaison soluble, on ajoute un sel soluble qui contienne l'oxyde qu'on veut combiner. C'est ainsi que l'indigoture de chaux, traité par le chlorure d'étain, forme, par double décomposition, un indigoture d'étain, sel insoluble qui se précipite. L'indésine, en combinaison avec la potasse après réduction, se comporte de même.

Il est facile de voir que dans tous ces cas la matière colorante se comporte à la façon d'un acide. Au reste, on le prouve en cherchant à la déplacer; on n'y parvient qu'en faisant usage d'un acide plus énergique. Si les matières colorantes, en général, sont considérées comme des acides, elles doivent présenter pour un oxyde donné des affinités différentes, et là encore l'expérience confirme cette manière de voir. Met-on, en effet, dans un même bain une dissolution de garance, de cochenille et de gaude, l'alumine fixera successivement la garance, puis la cochenille, et enfin la gaude. Disons néanmoins que ces caractères ne sont pas absolus et que nous avons déjà cité l'exemple de l'hématine qui, vis-à-vis de l'acide sulfureux, se comporte comme le ferait une base. Il y aurait un intérêt réel à dresser une table des proportions chimiques concernant les matières colorantes organiques. La société de Mulhouse a proposé pour ce travail une médaille d'argent; le programme indique l'utilité de cette table, qui devrait contenir les proportions chimiques des principes colorants purs et dans l'état où le commerce les livre, et pour celles des matières colorantes qui sont solubles l'équivalent des décoctions à des degrés aréométriques donnés; de ces proportions pourraient se déduire celles de tel ou tel mordant propre à la composition des couleurs et la préparation des laques, comme on calcule la composition de tout sel dont on cherche l'acide, connaissant la base.

Acides. — D'après ce qui précède, on voit que l'action des acides sur les matières colorantes tend, conformément à ce qui se passe dans les ateliers et les laboratoires, à mettre en liberté les matières colorantes, soit qu'elles se trouvent engagées dans les matières tinctoriales, soit qu'elles existent en combinaison avec le tissu, soit enfin qu'elles restent à l'état de liberté dans le liquide sans contracter d'adhérence avec l'étoffe. Ces réactions sont en effet utilisées dans la pratique ou pour rendre soluble la matière colorable engagée dans un bain à l'état de composé non soluble, ou pour enlever la couleur déposée d'une manière uniforme sur une étoffe qu'il faut décorer de dessins variés, (*enlevage*) ou pour empêcher la couleur de prendre sur certains points (*réserve chimique*).

Les cas de contact des acides inorganiques avec les matières colorantes sont donc fréquents dans l'industrie. Voyons à déterminer les phénomènes qui peuvent se présenter; ils seront nécessairement variables avec la nature de la matière colorante, avec la température à laquelle l'expérience aura lieu, avec la nature et l'état de concentration du liquide employé.

Lorsque l'acide sulfurique est concentré et qu'on le fait agir à froid, il peut n'être qu'un simple dissolvant, et les observations de tous les jours ont démontré que les matières colorantes qui ne s'altéraient pas au contact de l'acide sulfurique étaient douées d'une grande solidité. Il suffit, en effet, d'étendre d'eau pour faire reparaître la matière colorante avec toutes ses propriétés primitives. C'est ce qui arrive lorsqu'on traite la garance par l'acide sulfurique concentré. L'alizarine se précipite avec ses caractères distinctifs quand on étend d'eau la dissolution. Dans certaines circonstances l'acide sulfurique entre dans la molécule qu'il modifie; il se copule surtout avec les matières colorantes volatiles. C'est ainsi qu'il forme avec l'indigo bleu, l'alizarine, la lutéoline, des composés acides analogues à l'acide sulfovinique.

Si l'on fait intervenir la chaleur, les matières colorantes non volatiles se détruisent; en général, elles se charbonnent, tantôt avec dégagement de produits contenant du soufre, tantôt sans formation d'acide sulfureux.

L'acide azotique oxyde quelques-uns de ces corps sans altérer leur constitution moléculaire; mais le plus souvent, il les détruit pour donner naissance à des produits très variés.

L'acide chlorhydrique concentré détruit le plus grand nombre des matières colorables ou colorées, particulièrement les matières colorantes non volatiles.

C'est surtout au contact des acides étendus que les matières colorantes sont exposées dans les opérations de l'industrie; comme les acides concentrés attaquent les fibres, on doit éviter leur action dans la teinture proprement dite.

Lorsqu'une matière colorante est mise en contact à froid avec un acide étendu, sa solubilité diminue, si cette matière est soluble; il n'y a pas d'action, si la matière colorante est insoluble à chaud. S'il y a dissolution, la matière colorante se précipite par refroidissement sous forme cristalline.

Le simple contact des acides étendus avec les matières colorantes doit assurément les modifier de la même manière qu'il agit sur le sucre de raisin. Les opérations journalières font admettre des altérations de cet ordre qui est de nature à donner une explication plausible de l'appauvrissement que subissent certains bains de teinture abandonnés à leur propre décomposition.

La première influence d'une matière acide sur une couleur végétale est d'en modifier la nuance: on admet généralement que les couleurs rouges tournent à l'orangé, que les couleurs bleues passent au rouge et que les jaunes sont éclaircies en passant au vert. Ces nuances sont ramenées à leur couleur primitive par l'addition des alcalis; les rouges sont ramenés au rouge vineux, les bleus passent au jaune foncé et les jaunes sont à peine altérés. On peut donc toujours ramener, dans certaines limites au moins, une nuance altérée par un acide au moyen d'une base et réciproquement; on donne dans les arts le nom de *virement* à l'action dont nous parlons; on en fait usage pour rassortir une nuance donnée.

A quoi tiennent ces modifications? Évidemment nous ne pouvons confondre ici deux sortes de phénomènes, l'un essentiellement physique qui constitue le

virement dont nous venons de parler; l'autre exclusivement chimique et qui résulte de la mise en liberté d'un acide végétal coloré dont la couleur était masquée par suite d'une combinaison avec une base alcaline. Dans cet ordre de faits nous rappellerons l'action d'un acide quelconque sur la teinture bleue de tournesol. La coloration bleue résulte de la combinaison de l'acide rouge avec une base; l'acide met l'acide végétal en liberté; il est soluble, il colore donc en rouge le liquide primitivement bleu; ici rien d'obscur, et tous les chimistes sont d'accord. Il n'en est plus de même de la cause qui fait virer les couleurs, et c'est surtout à l'altération des principes simples colorés, qu'on ne peut considérer comme des sels, qu'il faut appliquer l'hypothèse que nous allons présenter. Or, si l'on admet avec M. Chevreul que les couleurs ne sont pas dans la matière, qu'elles résultent des impressions que nous en éprouvons sous l'influence de la lumière blanche qui n'est pas réfléchie dans son ensemble, mais dans quelques-unes de ses parties seulement, il est vraisemblable d'admettre que toutes les circonstances qui modifieront la molécule d'une substance modifieront de même sa couleur. Ne peut-on pas concevoir certaines contractions des molécules colorées sous l'influence des acides ou des bases, contractions qui ne seraient pas capable de se trahir par d'autres caractères que ceux qui prendraient naissance dans une modification légère de la nuance primitive? Au reste, nous n'entendons présenter cette explication qu'avec la plus grande réserve et ne la produire que dans le cas où la transformation d'une nuance donnée en une nouvelle nuance, si voisine qu'elle soit de la première, n'est accompagnée d'aucune métamorphose chimique, d'aucune évolution moléculaire.

Sels. — L'action des sels sur les matières colorantes peut être étudiée sous divers points de vue. Sous le rapport d'une intervention purement physique, les uns retardent momentanément la solubilité d'une matière colorante soluble par elle-même, d'autres la favorisent au contraire, quelques-uns, à ce chef, sont sans influence aucune.

Sous le rapport d'une intervention chimique, tandis que plusieurs sels agissent à la façon des bases, d'autres se comportent comme des acides. Dans ces deux circonstances, l'action est multiple; car l'influence relative au virement s'ajoute généralement à celle qui résulte des décompositions que la chimie peut prévoir et expliquer. Les sels dont l'action est équivalente à celle des bases sont surtout les sels à acides minéraux ou végétaux doués d'une faible énergie chimique; les carbonates et les acétates saturent les couleurs avec leurs bases comme si dans le mélange ces dernières étaient en liberté.

Nous avons vu comment les matières colorantes solubles se comportaient avec les sels en étudiant les moyens à l'aide desquels on rend insolubles ces principes pour les déposer avec adhérence sur les fibres textiles. Nous n'avons donc pas à revenir sur ce sujet. Nous rappellerons seulement que toutes les fois que la matière colorante est soluble sous forme de sel, elle peut former une laque insoluble par voie de double décomposition, quand on sait choisir parmi tous les sels celui dont la base forme un composé non soluble. Comme exemple nous citerons la décomposition de l'indigoture de chaux par le protochlorure d'étain. Souvent même, la dissolution simple de la matière dans l'eau, lorsque la matière colorante est soluble, se dépouille complétement au contact d'un sel. Témoin la solution d'hématine avec le sel d'étain : dans cette réaction il se forme de l'oxyde d'étain et de l'acide chlorhydrique; le protoxyde d'étain s'empare de la matière colorante et l'acide chlorhydrique n'exerce pas plus d'action sur la laque colorée que si l'on avait opéré sur un mélange alcalin. On peut rapprocher de ces faits l'influence de certains sels calcaires qui n'agissent qu'en vertu de la chaux qu'ils contiennent; on utilise cette propriété dans les opérations du garançage en additionnant le bain de quercitron et de fustet.

Dissolvants organiques. — L'alcool et l'éther sont employés, et si leur prix élevé permettait de les introduire avantageusement dans les pratiques de l'atelier, ils pourraient rendre de grands services à l'industrie qui nous occupe; nous verrons que l'on a déjà fait usage du premier, au moins pour isoler les principes utiles contenus dans les matières tinctoriales. On fait usage aujourd'hui d'esprit de bois, d'acétone, de sulfure de carbone, etc., comme dissolvants des matières colorantes.

Si nous exceptons l'indigotéine, toutes les matières colorantes sont solubles dans l'alcool et l'éther, surtout si l'on fait usage de la chaleur pour faciliter la dissolution; la matière colorante se sépare par le refroidissement sous forme de cristaux plus ou moins nets et brillants. La dissolution n'est que rarement accompagnée d'altération; cependant il se manifeste quelquefois des modifications qui se décèlent par des changements de nuances et de propriétés.

L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique en mélange avec l'alcool dissolvent toutes les matières colorantes, surtout à chaud, et c'est dans ces circonstances que les phénomènes de réduction que nous venons de rappeler sont les plus fréquents. L'indisine est décolorée par ces mélanges.

L'acétone et l'esprit de bois sont de bons dissolvants pour certaines matières colorantes. On est peut être à la veille d'en faire usage d'une manière pratique pour remplacer les extraits aqueux de plusieurs matières tinctoriales. Ces dissolvants, au reste, mélangés à l'acide sulfurique jouissent des mêmes propriétés réductrices que le mélange d'acide sulfurique et d'alcool. L'indigo, la garance, la gaude subissent des altérations profondes.

L'essence de térébenthine est encore un bon dissolvant de certaines substances colorantes; elle agit sur le rouge d'Andrinople.

Le sulfure de carbone dissout l'anchusine, principe colorant de l'orcanette. Lorsque les dissolvants organiques n'agissent pas sur le principe colorant pur, ils peuvent servir à les dépouiller des matières étrangères qui les souillent; c'est ainsi que, dans le procédé de Parkin, le naphte est employé pour séparer l'indisine de la résine qui l'accompagne; c'est ainsi que le sulfure de carbone débarrasse la curcumine des impuretés qui s'y trouvent associées.

État naturel des matières colorantes. — Nous avons vu que les matières organiques colorantes étaient fournies par le règne végétal et le règne animal. Comment se forment-elles? C'est là certainement un mystère encore inconnu, mais dont il ne faut pas désespérer de trouver l'explication. Personne assurément ne peut dire à quelles substances il faut recourir pour engendrer de l'indigotéine avec les feuilles des indigofères, de la carthamine avec les fleurs du carthamus tinctorius, de l'alizarine avec les principes accumulés dans les racines des rubiacées. Mais bien qu'on n'ait encore pu suivre jusqu'à présent ces métamorphoses intéressantes, on ne peut admettre qu'elles soient des secrets impénétrables. N'est-on pas parvenu dans ces derniers temps à préparer, au moyen d'intermédiaires éloignés, des composés qu'on considérait autrefois comme exclusivement du domaine des actions vitales? L'acide oxalique, l'acide racémique, l'acide tartrique, l'acide acétique, l'urée, les matières grasses sont aujourd'hui des produits de laboratoire. Assurément ce serait méconnaître la puissance de la synthèse chimique et les ser-

vices qu'elle a déjà rendus à l'homme que d'admettre que la science ne pourra jamais résoudre de semblables problèmes. On a déjà fait dans la reproduction des matières colorantes de tels progrès, qu'il serait prématuré de penser que quelques-uns au moins des principes colorés des animaux ou des végétaux employés en teinture ne sauraient jamais être reproduits de toutes pièces.

M. Stenhouse a fait voir que le furfurol en contact avec l'aniline donne immédiatement une magnifique couleur rouge. On a découvert l'aniline dans quelques variétés de champignons; le furfurol est une huile extraite du son. Ces trois faits conduisent naturellement à cette conclusion que les couleurs des fleurs peuvent être le résultat du contact de certains liquides produits à des époques déterminées de la vie des plantes. L'expérience conduira certainement un jour à la découverte de faits de même ordre, mais traduits par des colorations différentes.

Ainsi que nous l'avons dit, l'oxygène joue certainement un rôle important dans la formation des matières colorantes; mais ce serait aller trop loin que de croire que tous les principes immédiats colorés usités dans la teinture dérivent tous de l'oxydation de matières primitivement formées dans les végétaux ou les animaux. De simples dédoublements moléculaires, possibles sous l'influence des forces vitales, sont capables de transformations complètes dont nous trouvons des analogues dans les faits purement acquis dans les laboratoires. La salicine, par exemple, distillée sur de l'hydrate de chaux, perd une partie de son carbone à l'état d'acide carbonique et fournit une substance huileuse inodore, volatile, qui, sous l'influence du chlorure de calcium, forme à son tour à la longue une matière colorante rouge-cerise qui se place entre celle de la cochenille et de l'orseille. L'acide nitrocuminique, qu'on prépare en faisant agir l'acide nitrique fumant sur un des produits de l'oxydation de l'essence de cumin, ne conserve sa blancheur et sa limpidité que lorsqu'on le maintient à l'abri du contact de l'air; sous l'influence des rayons solaires, il se forme une poudre rouge qui rappelle la couleur du carmin, et susceptible de contracter adhérence avec les fibres ligneuses. Des recherches semblables à celles que nous indiquons pourraient conduire même à des colorations différentes de celles qu'on retire des substances tinctoriales, et pour ne faire qu'une citation nous dirons avec la société de Mulhouse que les travaux de Laurent sur la naphtaline ont permis d'entrevoir dans les dérivés chlorés et chloroxydés de cette substance une mine de couleurs d'autant plus intéressantes que leur composition chimique les rapproche de l'alizarine. Cette coïncidence remarquable a déjà conduit, en Angleterre comme en France, à des travaux de recherches et d'applications de la plus haute importance, dont la pratique est encore privée par l'absence de la matière première et la longueur de sa préparation.

Ces difficultés disparaîtront aussitôt que les acides chloroxynaphtalique et perchloroxynaphtalique seront préparés d'une manière courante, et qu'on pourra se procurer les acides et leurs sels à des prix qui puissent rivaliser avec ceux de l'alizarine, c'est-à-dire dès que leur valeur se placera dans les environs de 400 francs le kilog.

Cette nouvelle source de coloration sera des plus riches; en effet, la naphtase, produit de distillation de la nitronaphtaline, colore l'acide sulfurique en bleu violacé; la binitronaphtaline donne dans l'alcool saturé d'ammoniaque un composé cramoisi foncé; la trinitronaphtaline forme avec les alcalis des dissolutions rouges; la naphtylamine produit des sels qui s'oxydent en se colorant en violet, et elle se dissout dans l'acide sulfurique avec une coloration bleue très-vive; la nitronaphtylamine est un alcali rouge carminé; l'azonaphtylamine se dissout dans l'acide sulfurique avec une coloration violette persistante; les thionaphtamates à réactions acides se colorent en rouge; l'acide sulfonaphtalique se décompose en une résine rouge violacée; les chloroxynaphtalates et perchloroxynaphtalates sont des sels de toute beauté, insolubles, aux plus brillantes couleurs; à base de cuivre ils sont cramoisi, à base de plomb, rouge-orangé, à base de cobalt et de cadmium, vermillon; à base de chrome, ils sont rouges. Ces acides se fixent parfaitement avec les préparations en usage aujourd'hui dans la teinture ordinaire. S'il était possible de remplacer dans l'acide chloroxynaphtalique le chlore par son équivalent d'hydrogène, on produirait l'acide oxynaphtalique ou l'alizarine, et cette substitution ne conduirait à rien moins qu'à pouvoir garancer avec les produits de la distillation de la houille.

L'introduction récente de l'aniline comme matière colorable, celle plus ancienne de la murexide comme matière colorée, donnent tout espoir de voir s'accroître considérablement le nombre des matières résultant des transformations opérées dans les laboratoires sur des substances incolores.

L'art de la teinture et celui des toiles peintes en sont arrivés non-seulement à comprendre l'importance de l'étude des matières colorantes qu'on rencontre toutes formées, mais encore à demander qu'on poursuive la préparation de toutes les matières qui décèlent une couleur. Il y a quelques fruits à récolter actuellement partout où se produit une matière colorée, et les difficultés chimiques non plus que la rareté des substances ne peuvent être des obstacles. La murexide et l'aniline, qui ne se voyaient, il y a moins de trois ans, que dans des tubes scellés, comme spécimen de collections, sont des conquêtes industrielles aussi bien sous le rapport de la production sur une grande échelle que sous celui de l'application et de la transformation d'un principe en une matière des plus utiles. Les alcalis organiques doivent étendre considérablement l'avenir de la teinture. Le problème à résoudre ne se place certainement pas sous des auspices plus défavorables que ne l'était celui de la murexide. A côté de l'aniline, un nombre imposant de bases s'offre aux études du chimiste. Nous citerons les alcalis de l'opium, la morphine et la codéine qui produisent du rouge, la narcotine qui donne du vert avec l'acide sulfurique, la nitroméconine qui se colore en rouge avec les alcalis. La strychnine donne du violet; la dissolution nitrique de la brucine est ramenée par le protochlorure d'étain du rouge au violet; la théobromine oxydée colore l'épiderme en rouge et la magnésie en bleu foncé. La sanguinarine se colore en rouge dans les atmosphères acides; la nitronaphtylamine est un alcali rouge-carmin. Les dérivés nitriques de la caféine fournissent un homologue de l'acide urique, l'acide amalique qui se colore en violet sous l'influence des alcalis, et teint l'épiderme en rose très-pur. Enfin la quinine avec l'ammoniaque et de l'eau chlorée fournit une couleur verte, du violet, du rouge, à mesure que le chlore augmente. Les dérivés chlorés des amides quinoniques de Laurent, la quinone et l'hydroquinone seront aussi plus tard utilement employés. Il est vrai que plusieurs des colorations que nous venons d'indiquer sont passagères, d'autres n'existent que dans des véhicules à l'action desquels ne résistent pas les fibres textiles; mais nous verrons plus loin que les méthodes qui permettent de rendre solides les couleurs tirées de l'orseille ne sont plus un secret pour personne; on a rencontré dans l'application de la murexide, de l'acide sulfindigotique, de l'acide sulfopurpurique les mêmes difficultés inhérentes aux obstacles créés par les véhicules; elles ont été surmontées ou tournées

avec habileté. La première entrave viendrait d'abord des prix de la matière; mais à l'origine on n'exigera certainement pas la même pureté que pour les produits que réclame la pharmacie, et les siècles ou mieux les années futures exigeront seules des produits mieux purifiés; l'époque présente recevra des substances tinctoriales complexes desquelles on retirera des produits plus purs, mais qui prendront place dans les arts au même titre que certains extraits, que l'indigo, que le rocou, etc.

Quoi qu'il en soit de l'avenir de la science chimique, lorsqu'on la considère dans son aptitude à la découverte ou à la préparation des couleurs végétales, nous ne pouvons plus actuellement, comme on le faisait autrefois, assimiler une substance tinctoriale à de simples mélanges d'un principe immédiat coloré plus ou moins souillé de matières étrangères. Toutes les expériences exécutées jusqu'à présent tendent au contraire à démontrer une composition généralement beaucoup plus complexe. On peut y rencontrer :

1° Le principe immédiat incolore, ou diversement coloré, générateur du principe utile et coloré (principe colorable) (lécanorine dans les lichens);

2° Le principe colorable (orcine, dans les mêmes matières);

3° Le principe coloré plus ou moins propre à la teinture (orcéine dans l'orseille);

4° Le principe coloré plus ou moins altéré, plus ou moins détruit par suite d'une oxydation, d'une fermentation, d'une érémacausie plus ou moins prolongée.

Il est évident que le mélange de ces divers principes est essentiellement varié dans les différentes matières employées en teinture; les propriétés caractéristiques de quelques-unes d'entre elles les protégent d'une manière plus ou moins efficace contre toute chance d'altération; l'indigotéine, par exemple, insoluble dans l'eau comme dans les véhicules les plus énergiques, ne passera pas à l'état d'indigo détruit aussi facilement que l'indigo blanc qui se dissout à la faveur d'un alcali et qui peut alors subir la fermentation putride; sous l'une ou l'autre de ces deux formes, il sera toujours moins impressionnable que d'autres matières entièrement solubles dans l'eau. Au reste, il n'est pas toujours également facile d'isoler les substances génératrices du principe colorable, le principe colorable, le principe coloré lui même et les produits de l'altération de ce dernier; si l'on a pu suivre dans certains lichens, par exemple, la transformation successive de la lécanorine en orcine, et celle de l'orcine en orcéine, rien d'analogue ne s'est offert aux yeux des chimistes qui ont fait des produits de la garance l'objet de leurs études. Dans quelques cas, au contraire, c'est le principe générateur de la matière colorable qui manque; il n'est possible de suivre que la formation de la matière colorée et les produits de son altération. L'indigo blanc se transforme facilement en indigotéine, et bien que les produits de sa destruction ne soient pas connus au point de les formuler ou d'en déduire la composition d'après celle de l'indigo, rien n'est plus simple de prouver, d'après les comptes de fabrication, qu'il existe des produits altérés dans les bains épuisés ou mis hors de service par une fermentation mal conduite.

Quel est le but du teinturier mis en présence d'une matière tinctoriale quelconque? Lorsqu'il existe un principe générateur de la couleur, en opérer la transformation, et si la matière colorable existe toute formée, déterminer les réactions capables de donner naissance au composé coloré. Enfin, lorsque cette dernière s'est produite, l'extraire pour la débarrasser autant que possible des substances étrangères qui souilleraient son éclat, ou détruiraient sa solidité. Dans un grand nombre de cas, une simple décoction, un extrait concentré, un extrait solide sont plus que suffisants pour contenir le principe coloré sous une forme convenable pour la pratique. Dans d'autres cas, au contraire, il faut avoir recours à des voies détournées dont le choix repose sur une étude approfondie des propriétés caractéristiques de la matière tinctoriale, considérée comme une sorte de minerai complexe, et qui dépend de la nature des principes colorés appréciés à leur plus grand état de pureté.

Il est assez remarquable que les couleurs qu'on a pu jusqu'à présent extraire des diverses substances tinctoriales se soient rapportées aux trois couleurs simples, rouge, bleu et jaune. Les autres couleurs ne sont que des mélanges; par exemple, le rouge orangé est un mélange de rouge et de jaune, le violet un mélange de bleu et de rouge; le vert est formé de jaune et de bleu.

Quelques exceptions à cette règle peuvent néanmoins être citées, surtout parmi certaines couleurs violettes qu'on n'a pas encore décomposées de manière à séparer le principe bleu de la substance rouge. Je veux parler de la couleur dite orseille qu'on retire avec un éclat sans pareil des lichens traités par l'ammoniaque et l'eau. Nous citerons encore l'iodisine ou violet d'aniline. Quant aux verts, on est plus avancé. On a pensé tout d'abord que la couleur désignée sous le nom de *lo-kao* et qui s'extrait des nerpruns de Chine, devait être verte et formée de toutes pièces. On l'a dédoublée. La chlorophylle elle-même, qu'on a regardée si longtemps comme un principe unique, s'est transformée de la manière la plus nette entre les mains habiles de M. Frémy en deux nuances élémentaires, l'une jaune, la *phylloxanthine*, l'autre bleue, la *phyllocyanine*.

Tous les autres tons ne sont que les mélanges variés en proportions différentes de rouge, de jaune et de bleu. M. Chevreul a démontré, par exemple (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIX, p. 243), que les feuilles du hêtre, de l'épine-vinette, du noisetier pourpre renferment des parties vertes et des parties rouges en proportions variables, qui conduisent aux nuances brunes variées que ces feuilles présentent aux diverses époques de leur végétation; que la giroflée brune des jardins doit sa couleur au mélange de parties jaunes et de parties violettes; qu'il en est de même des fleurs d'iris, d'oreille d'ours, etc., enfin (*Comptes rendus*, t. XLV, p. 397), que les bords bruns des feuilles de *geranium zonale* étaient colorés par un mélange de parties vertes imbibées par un liquide rouge ou violet qui remplit les cellules juxtaposées aux parties vertes : l'alcool permet de les séparer.

Extraction des principes colorants.—Les progrès de la chimie ont conduit facilement le teinturier à faire usage des matières colorées, ramenées par des traitements convenables au plus grand état de pureté. Le tableau que nous avons déjà présenté nous démontre que généralement on a séparé des matières tinctoriales des principes colorables et colorés. Nous ne saurions admettre cependant en principe avec M. Preisser que toujours existent simultanément un principe incolore colorable duquel dérive la matière utile, quelle que soit sa nuance, et le principe coloré lui-même. Ce qui est vrai pour quelques cas ne l'est pas pour tous, au moins dans l'état actuel de nos connaissances; il est plus général de voir une même substance tinctoriale contenir deux ou trois principes différents et différemment colorés; et la science est parvenue sans trop de peine à les isoler en mettant à contribution deux méthodes qui reposent, l'une sur la solubilité des matières, et l'autre sur leur insolubilité dans l'eau.

Pour séparer les principes colorés ou colorables, on fait usage de méthodes variées suivant la nature des substances qu'on veut isoler, suivant qu'elles sont ou non solubles dans l'eau ou dans tout autre véhicule.

Matières peu solubles. — Après avoir divisé la matière tinctoriale, on la traite par l'alcool jusqu'à ce que ce véhicule n'enlève plus aucune partie soluble. Une portion de la matière colorante se dépose par refroidissement; le reste est soumis à une distillation qui permet de recueillir l'alcool et de séparer un résidu chargé de sucre et de matière grasse qu'on éloigne par des lavages successifs à l'éther et à l'eau chaude. Le principe colorant n'apparaît d'ailleurs avec ses caractères propres que lorsqu'on l'a fait cristalliser plusieurs fois dans l'alcool et qu'on l'a sublimé, s'il supporte sans s'altérer l'action de la chaleur. On peut commencer par épuiser la matière par l'éther et l'eau avant de la traiter par l'alcool. Cette méthode permet de substituer l'esprit de bois, l'acétone, l'acide acétique ou l'acide chlorhydrique à l'esprit-de-vin. Si l'on fait usage d'acide, il faut ne l'employer qu'à l'état de concentration convenable pour ne pas détruire le principe qu'on cherche à séparer.

Matières solubles. — Lorsque le principe qu'on veut isoler est soluble dans l'eau, le procédé le plus simple consiste à traiter par l'eau froide ou tiède les matières tinctoriales convenablement broyées et à plonger dans la liqueur conservée dans des vases bouchés une peau verte gonflée pour absorber le tanin que renferment généralement les infusions aqueuses. La liqueur débarrassée de la matière astringente est précipitée par l'acétate de plomb basique ou le protochlorure d'étain qui se combinent avec la matière colorante. Le précipité lavé doit ensuite être traité par l'hydrogène sulfuré qui forme du sulfure métallique, tandis que la matière colorante est dissoute avec ou sans modification par l'excès d'acide; on la retire par concentration, évaporation dans le vide ou à l'air libre, suivant les propriétés de la substance.

Lorsque la matière résiste à l'action de l'acide sulfurique concentré, il est assez rationnel de traiter la matière tinctoriale par un mélange de quatre volumes d'acide sulfurique concentré et un volume d'alcool; on comprime le magma résultant de la réaction pour en extraire un liquide qui se trouble par l'addition de l'eau en déposant la matière colorée, peu ou point soluble dans ce véhicule acidulé. On purifie la matière ainsi préparée par des cristallisations et sublimations répétées. En traitant de la sorte l'indigo, la garance, le quercitron, la gaude, le kermès, la cochenille, on isole une matière colorante, l'acide sulfindigotique, l'alizarine, la lutéoline, la carmine.

Toutes ces méthodes ont pour but d'isoler la matière colorante pour la soumettre aux études du chimiste, lorsqu'il désire en connaître les diverses propriétés. Mais quand on n'a que peu de matières colorantes on procède par voie de teinture, on arrive de la sorte à faire ressortir les différences que présentent entre eux les divers principes colorants; on soumet aux principaux réactifs des échantillons d'étoffes de laine ou de soie teints avec les matières qu'on veut définir. Cette méthode est surtout précieuse pour l'étude des matières qui se fixent directement sans intermédiaire; elle donne des résultats précis dans tous les cas, quand on tient compte des réactions dues à la fibre, aux matières qu'elle contient, aux substances qui ont servi d'intermédiaire pour donner la teinture.

Extraits aqueux. — Nous ne croyons pas devoir insister sur ce point que ces méthodes, applicables avec fruit, pour permettre d'isoler dans les laboratoires les substances tinctoriales qu'on veut soumettre à l'étude en définissant aussi complétement que possible leurs éléments constitutifs, ne pourraient être, aujourd'hui du moins, du domaine de l'industrie. Un jour viendra où des méthodes, même coûteuses maintenant, prendront rang dans les fabriques. Mais on se borne généralement pour beaucoup de celles dont le principe est soluble dans l'eau à les traiter par ce véhicule. On concentre ainsi, dans un liquide peu considérable, le principe utile de ces matières tinctoriales; les bois de teinture principalement sont ainsi débarrassés d'une grande quantité de substances sans valeur. Depuis longtemps on prépare à Paris et dans les environs des *extraits* que le commerce accepte comme un progrès très-sérieux, quoique la décoction ne contienne pas encore les principes à l'état de pureté : la teinture et surtout l'impression ont le droit d'exiger davantage.

Nous pourrons abréger ici ce que nous aurions à dire de la préparation des extraits parce que le premier volume de cet ouvrage a donné sous le titre EXTRAIT des renseignements circonstanciés et précis. Nous aurons à présenter seulement quelques observations en ce qui regarde surtout leur application et les avantages qu'on en peut tirer.

Ainsi qu'on le sait, la préparation des extraits comprend trois opérations distinctes.

On commence par réduire les bois, les écorces, les racines, les graines à l'état de poudre assez ténue pour que ces matériaux puissent abandonner facilement à l'eau les substances solubles dont ils sont chargés; les bois sont avec les écorces les matières premières auxquelles il est indispensable de faire subir cette division; elle se fait à la main ou par des moyens mécaniques; la première méthode, trop coûteuse, est abandonnée presque partout, surtout pour des fabrications quelque peu considérables.

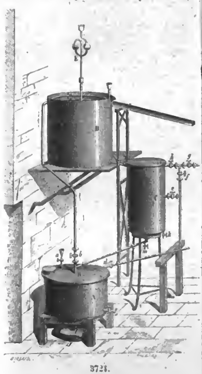
On procède ensuite à l'épuisement de la matière réduite en copeaux ou plus finement broyée, s'il y a lieu. On emploie la décoction dans l'eau bouillante; on aurait une grande économie à faire des lavages méthodiques à chaud en faisant en sorte que le bois neuf soit traité d'abord par une solution presque saturée, tandis que, au contraire, le bois épuisé se trouverait en contact avec de l'eau pure, pour enlever les dernières traces de matières colorantes. Cette installation, presque impossible pour les teinturiers qui préparent eux-mêmes leur décoction, devient, au contraire, très praticable dans les établissements qui fabriquent des extraits; ainsi compriso, cette disposition systématique présenterait de sérieux avantages.

Dans une fabrique des environs de Paris, cinq générateurs, d'une force de 150 chevaux, alimentent une machine, d'une force de 40 chevaux, qui met en mouvement deux varlopes circulaires; les copeaux sont placés dans des tonneaux rangés en batteries sur des chantiers exhaussés. Les quatre batteries contiennent 300 tonneaux; chaque tonneau reçoit à volonté des jets de la vapeur qui traverse les copeaux, échauffe la masse et se condense en partie sur le bois, en partie aussi sur une capsule plate en cuivre qui fait fonction de couvercle. Un robinet placé dans la partie inférieure permet d'écouler le liquide chargé de matière colorante : on le verse après un repos suffisamment prolongé dans la capsule, où la concentration s'effectue sous l'influence de la chaleur et de l'évaporation à l'air libre.

La concentration termine la fabrication des extraits; elle s'effectue dans des chaudières chauffées à la vapeur. Les extraits concentrés à 30° Baumé sont transvasés dans des pipes placées debout sur des chantiers, dans une pièce isolée servant de rafraîchissoir où ils se déposent; on soutire les liquides froids pour les verser dans des barils bien joints et solidement cerclés; ils sont généralement expédiés dans cet état. Parfois on concentre davantage; on obtient ainsi des extraits durs qui se prennent en masse; mais, au moins pour quelques matières, l'augmentation de la dépense conduit à des produits inférieurs, et, dans ce cas, il n'y a profit ni pour le fabricant ni pour le consommateur.

Les copeaux épuisés servent à l'alimentation des foyers des générateurs de vapeur : les dépôts qu'on tire des pipes de décantation se vendent aux teinturiers de *petit teint*, principalement pour la teinture du coton ; on en jette aussi quelquefois dans les chaudières pour éviter les inconvénients des incrustations dues aux sels calcaires.

La préparation des extraits contribue sans doute à la formation d'une substance résineuse qui n'est pas sans rendre difficile l'emploi de ces matières ; elle est retenue dans le liquide avec d'autant plus de facilité que ces extraits sont plus concentrés. A partir de 8 degrés Baumé, les décoctions deviennent des véhicules de plus en plus énergiques qui ne laissent déposer cette résine qu'avec la plus grande lenteur, si la concentration, au delà de cette limite, s'est effectuée sans que le dépôt ait eu le temps de se faire complétement. Il est



3724.

vrai qu'on se débarrasse par un encollage au moyen de la gélatine de cette matière étrangère, mais on perd évidemment une portion des matières utiles qu'on a concentrées. On passe sur cette perte parce que les couleurs qu'on en obtient sont incomparablement beaucoup plus pures. Concentrées de nouveau, ces décoctions redeviennent précipitables par la gélatine. On ignore si la résine ne se forme pas aux dépens de la matière colorante et les circonstances dans lesquelles cette transformation est possible. Des recherches dirigées dans le but de répondre à cette double question auraient une grande utilité ; elles contribueraient évidemment à fixer l'opinion sur le rôle des agents destructeurs des principes colorés et sur le mode de leurs transformations.

Extraits alcooliques. — On obtient une plus grande pureté dans les extraits alcooliques toutes les fois que la matière colorante est soluble dans l'alcool. Comme ces préparations se répandent de plus en plus, nous croyons utile de faire connaître ici l'appareil proposé par M. Kopp, applicable au traitement des substances tinctoriales, ou par l'alcool ou par l'esprit de bois.

A (fig. 3724) représente une caisse pour recevoir la vapeur d'eau ; B est le récipient dans lequel se rassemble la matière colorante extraite par l'alcool ; C un cylindre dans lequel on place la matière tinctoriale ; il contient à l'intérieur un cylindre I qui reçoit la matière enveloppée dans une toile métallique H pour être retirée avec plus de facilité ; D est un condenseur à eau froide ; E un tube surmonté d'un appareil à boules renfermant un peu de mercure pour laisser dégager et rentrer un peu d'air, et au besoin dégager un excès de vapeur.

Pour opérer l'extraction, on remplit avec soin et en tassant le plus également possible le cylindre métallique de la matière qu'on veut traiter, et qu'on a réduite en fragments assez petits ; quand le cylindre est bien rempli et mis en place (fig. 3725), on étale à sa surface et bien horizontalement une étoffe de laine qu'on recouvre ensuite d'une plaque de tôle percée de trous ; on dispose enfin une rigole qui conduit l'alcool deversé par le robinet *i* vers l'axe central, pour se répandre de là, uniformément, dans toutes les parties du cylindre. Ces précautions sont nécessaires pour obtenir une extraction régulière. Tous les robinets étant fermés, on verse de l'alcool ou de l'esprit de bois dans le grand cylindre, jusqu'à ce que la masse qu'il renferme soit complétement imbibée et que le liquide commence à couler dans le récipient B. On ferme alors bien exactement le cylindre C au moyen du couvercle G, et on ouvre les robinets *d* et *i* ; la vapeur d'un générateur arrive dans le cylindre A, porte bientôt l'alcool du vase B à l'ébullition ; la vapeur de l'alcool ne peut s'échapper par *b* ; elle se rend en C et tout en opérant l'extraction de la matière colorante, elle en élève la température.

Dès qu'on sent que le robinet *i* s'échauffe, on ouvre le robinet *b*, la vapeur s'y rend et vient se condenser dans le serpentin D, et s'écoule par le robinet *i* pour retomber sur les matières qu'on veut épuiser dans le cylindre H, et dissoudre la substance colorante ; l'extrait se rend dans le récipient B, l'alcool s'en dégage pour coopérer à de nouvelles dissolutions.

Il est très-utile d'établir la communication entre B et C, au moins sur une petite longueur, par un tube de verre qui permet de reconnaître l'époque à laquelle la dissolution alcoolique cesse d'être colorée ; à défaut d'un tube de verre, on utilise le petit robinet *m* au moyen duquel on peut examiner à tout instant la nature du liquide qui se rend en B. Quand on juge que l'extraction est complète, on ferme le robinet de vapeur *d*, et en ouvrant *o* et *c* on laisse écouler l'eau de condensation et la vapeur non condensée ; afin d'évacuer l'eau qui peut s'accumuler dans le cylindre A, le robinet *c* doit être ouvert de temps en temps pendant la marche de l'appareil (fig. 3724).

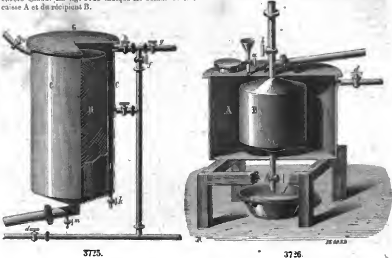
Si pendant l'opération on voulait entretenir une température assez élevée dans le cylindre C pour faciliter la dissolution de la matière colorante, on ouvre de temps en temps un robinet *e* qui admet la vapeur dans l'enveloppe des deux cylindres intérieurs, et le robinet *k* qui rejette l'eau de condensation accumulée dans cette enveloppe.

Quand on a laissé refroidir l'extrait alcoolique con-

tenu dans B, on ouvre le robinet *l* et l'on reçoit la teinture dans un vase approprié *j*. Si le liquide n'est pas trop visqueux à froid, on refroidit, en introduisant de l'eau dans la caisse A par le robinet *a*; dans le cas contraire, on laisse l'extrait s'écouler pendant qu'il est encore chaud. La fig. 3726 indique les détails de la caisse A et du récipient B.

finité du tissu pour la matière colorante, affinité suffisante pour enlever au bain de teinture la substance colorée qu'il tient en dissolution.

La pratique a quelquefois recours à des opérations de ce genre pour préparer des bains d'une plus grande



3725. 3726.

Il reste à recueillir encore l'alcool ou l'esprit de bois qui mouille toujours la matière après son épuisement; on se sert à cet effet du récipient B comme condensateur; on ouvre les robinets *e* et *k* après avoir fermé les robinets *b* et *i*; l'alcool contenu dans le cylindre H se réduit en vapeur et se condense en B, en dissolvant la matière adhérente aux parois, et trop visqueuse pour s'être entièrement écoulée; on enlève la teinture faible par le robinet *l*. On peut les ajouter à l'extrait ou s'en servir comme alcool pur dans l'opération suivante.

Pour ne pas perdre la vapeur d'alcool que contient encore le cylindre I, on peut ouvrir les robinets *f* et *h* pour faire pénétrer la vapeur d'eau qui dissout l'alcool, de sorte qu'il se condense dans le récipient B un mélange d'alcool et d'eau; en ouvrant le robinet *l* on écoule cet alcool faible, qui peut en outre contenir les principes solubles à l'eau abandonnés par la matière épuisée.

Lorsqu'on veut rejeter la substance inutile à l'état sec, on laisse fermé le robinet *f*, on ouvre les robinets *h* et *g*, et par un aspirateur ou par un soufflet on force de l'air dans le récipient I. On condense encore une certaine quantité d'alcool. Par la première méthode, la perte en alcool est à peu près insignifiante.

On ouvre alors le cylindre C; on retire la cylindre en toile métallique H; on rejette le résidu qu'on remplace par de nouvelle matière; le récipient B est généralement convenablement nettoyé en faisant l'office de condensateur.

Extraction par voie de teinture. — Nous avons indiqué que les étoffes teintes au moyen d'une substance donnée offraient une méthode rapide et précise pour déterminer les caractères chimiques du principe qui est la cause de la coloration. Cette méthode repose sur l'af-

pureté : la teinture des soies nous offre l'exemple de l'emploi de tissus de coton et de laine pour dépouiller certaines matières colorantes de principes étrangers qui se fixeraient simultanément sur la soie dont ils altéreraient la vivacité.

C'est ainsi que pour enlever complétement le principe jaune que contient la carthamine, on commence par teindre des écheveaux de coton qu'on traite ensuite par un bain alcalin pour les décolorer : la matière qui est déposée sur le coton est plus pure que celle que le bain de teinture aurait fournie directement.

C'est ainsi que pour teindre la soie par l'acide sulfo-indigotique, on commence quelquefois par teindre des étoffes de laine ; ces laines teintes sont décolorées dans des bains qui servent ensuite à passer les soies qu'on veut colorer en bleu tendre.

Dans ces deux cas, les teintures intermédiaires, sur coton et sur laine, sont essorées, rincées, essorées de nouveau, comme s'il s'agissait de pièces propres à livrer. Il est convenable de se servir des mêmes tissus autant de fois qu'on le peut, et de ne les rejeter que lorsque ces teintures et décolorations répétées les ont mis hors d'usage.

On comprend que cette méthode nécessitant quelques dépenses de main-d'œuvre s'applique surtout à la teinture des soies qui peuvent supporter des frais plus considérables que la laine et le coton.

Essai des matières colorantes. — Quel que soit l'état sous lequel se présentent au fabricant les substances tinctoriales dont il fait usage, il est pour lui de la dernière urgence d'en poursuivre la vérification, tant pour reconnaître les fraudes auxquelles le fournisseur n'a pas craint d'avoir recours afin d'augmenter ses bénéfices, que pour reconnaître la perte que

l'un ou l'autre doit subir en raison des altérations que le temps ou les circonstances dans lesquelles les matières tinctoriales ont été placées ont fait éprouver à celles-ci. La science offre au consommateur diverses méthodes précieuses pour reconnaître le degré de pureté des matériaux qu'il met en œuvre et la richesse comparative des éléments dont il a fait acquisition : d'après les unes, on évalue par un procédé physique ou chimique la valeur réelle de la matière colorante contenue dans une substance donnée; d'après les autres, au contraire, on se livre à des essais pratiques exécutés sur une petite échelle, qui décèlent la quantité de la matière vendue, son éclat, sa richesse et sa solidité.

Principe du colorimètre. — Il est évident que deux substances tinctoriales de même espèce, mais inégalement chargées de principe colorant, donnent, employées à poids égal avec des volumes égaux de dissolvants, des colorations d'intensités proportionnelles à la quantité de matière colorante qu'elles renferment. Pour apprécier la différence qui existe dans l'intensité de deux liqueurs colorées, M. H. Labillardière introduit les liqueurs dans des tubes gradués sur la même échelle, il les place dans une boîte disposée convenablement, il étend d'eau la plus forte jusqu'à ce qu'elle soit ramenée au ton de la plus faible; il détermine ainsi le rapport qui lie les deux matières colorantes en essai.

Voici textuellement, d'après M. Labillardière, la description de l'appareil et la manière de s'en servir.

« Le colorimètre se compose de deux tubes de verre bien cylindriques, de 14 à 15 millimètres de diamètre, et de 33 centimètres de longueur environ, bouchés à leur extrémité, égaux en diamètres et en épaisseur de verre, divisés dans les cinq sixièmes de leur longueur, à partir de leur extrémité bouchée, en deux parties égales en capacité, et la seconde portant une échelle ascendante divisée en 100 parties; ces deux tubes se placent dans une petite boîte de bois par deux ouvertures pratiquées l'une à côté de l'autre à la partie supérieure, et près d'une des extrémités à laquelle se trouvent deux ouvertures carrées du diamètre des tubes, pratiquées en regard de leur partie inférieure, tandis qu'à l'autre extrémité se trouve un trou circulaire par lequel on peut voir la partie inférieure des tubes en plaçant la boîte entre son œil et la lumière, et juger très-facilement par cette disposition la différence ou l'identité de nuance de deux liquides colorés introduits dans les tubes.

« Après avoir traité ou dissous comparativement dans l'eau ou toute autre liqueur convenable, on n'introduit de ces dissolutions dans les tubes du colorimètre que jusqu'au 0 de l'échelle supérieure; on les place ensuite dans la boîte par les deux ouvertures pratiquées à cet effet, et après avoir comparé leur nuance, si l'on trouve une différence, on ajoute de l'eau à la plus foncée, et si l'on agite ensuite le tube après avoir bouché l'ouverture avec le doigt, si après cette addition d'eau on remarque encore une différence, on continue d'en ajouter jusqu'à ce que les tubes paraissent de la même nuance. On lit ensuite sur le tube dans lequel on ajoute l'eau le nombre des parties de liqueur qu'il contient. Ce nombre, comparé au volume de la liqueur contenue dans l'autre tube (100), indique le rapport entre le pouvoir colorant, ou la quantité relative des deux matières tinctoriales, et si, par exemple, il faut ajouter à la liqueur la plus intense 25 parties d'eau pour l'amener à la même nuance que l'autre, le rapport en volume des liqueurs contenues sera dans ce cas comme 125 : 100, et la qualité des matières colorantes relative sera représentée par le même rapport puisque la quotité de ces matières est proportionnelle à leur pouvoir colorant. »

Cette méthode exige certaines précautions, suivant la nature de la coloration du liquide rouge, jaune ou bleu; le grand reproche qu'on peut lui faire, c'est d'exiger que les matières mises en expérience soient dans un même état et d'une grande pureté. Quelques exemples vont en fournir la preuve; évidemment ce procédé ne peut accuser les différences *réelles* présentées par des mélanges de principes colorés différents; on sait que certaines colorations d'intensité considérable se détruisent par un simple phénomène physique lorsqu'on les mélange. On serait exposé sans contredit à ne pas croire chargés de cobalt une liqueur qui pourrait en contenir beaucoup si l'oxyde de nickel s'y trouvait simultanément mêlé dans des proportions déterminées. On sait que c'est sur ce même principe que repose la décoloration des verres à vitres par l'oxyde de manganèse; le verre naturellement coloré par l'oxyde de fer en vert clair perd cette nuance si l'on introduit une coloration rose par une addition d'oxyde de manganèse.

Procédés chimiques. — Les procédés chimiques qui peuvent remplacer avantageusement la méthode du colorimètre offrent une plus grande exactitude que ce dernier moyen d'essai. Les uns sont directs, les autres indirects.

Les moyens directs reposent sur l'emploi de méthodes qui ressemblent à celles qu'on suivrait pour préparer à l'état de pureté les matières utiles. Suivant les caractères de la matière, on la fait dissoudre dans un véhicule convenable (eau, alcool, éther, acide acétique, suivant les cas); on filtre, puis on évapore pour peser le résidu qu'on regarde comme proportionnel à la valeur réelle de la substance tinctoriale brute ou purifiée; ou bien on fait une décoction de la matière en essai; on traite la dissolution limpide par un sel de plomb ou d'étain qu'on lave et qu'on pèse pour le brûler, afin de tenir compte, par le poids des oxydes de plomb ou d'étain qui restent, de la quantité de la matière organique disparue. Cette dernière est regardée comme proportionnelle à la richesse de la matière en expérience.

Ces méthodes, disons-le, ne sont pas rigoureuses; la première détermination est inexacte, car il peut y avoir altération du produit coloré; d'ailleurs on dissout avec la matière colorante le sucre, la gomme, les matières grasses qui lui sont associées; la seconde, erronée de même, ne peut donner que des indications approximatives; car le tanin, les phosphates, silicates, etc., et d'autres matières étrangères, sont précipités comme les substances qu'on veut doser par les sels d'étain et de plomb. Nous ferons le même reproche à la méthode qui consiste à traiter par un véhicule convenable jusqu'à complet épuisement un poids égal de chacune des matières à titrer, et à comparer les poids des résidus desséchés au même point, à 100° par exemple, dans une étuve de Gay-Lussac. On commet ici l'erreur de regarder comme matière colorante toutes les parties solubles qui sont associées à cette dernière.

Les moyens indirects reposent sur deux principes différents :

a. On fait une dissolution de la matière contenue dans un poids convenu de substance; on la décolore par une liqueur titrée de chlore ou de chlorure de chaux. Connaissant le volume de chlore nécessaire pour décolorer complétement une dissolution connue de la matière colorante pure, on apprécie la richesse de l'échantillon soumis à l'essai.

b. On incinère un poids déterminé de la substance dont on veut apprécier la valeur; on compare le poids du résidu au poids que donne la matière normale. On suppose que les végétaux venus dans un même terrain; ou que les insectes provenant d'une source identique doivent laisser une même quantité de cendres.

On objecte à ces deux procédés, pour le premier qu'il ne permet pas de déterminer exactement la nature des mélanges de deux matières colorantes différentes de puissance variée ; et pour le second, que, pris isolément, s'il peut donner des indications utiles, il ne peut être d'un secours absolu.

Procédés pratiques. — De tous les moyens employés pour reconnaître la valeur réelle des substances tinctoriales ou les fraudes par lesquelles elles ont été modifiées, celui qui fournit les plus utiles renseignements est, sans conteste, celui qui, plaçant l'industriel dans les conditions de l'emploi qu'il veut faire, lui permet de déterminer de suite la valeur réelle de la matière qu'il étudie. Non-seulement on peut juger de la qualité d'une *garance* donnée par la vue des nuances qu'on en peut obtenir, mais il est encore facile avec un peu d'habitude de déterminer sa valeur tinctoriale, en opérant avec des poids déterminés la teinture de surfaces convenues et comparant la vivacité, la richesse, l'éclat des nuances avec celles produites au moyen de garances normales employées sous des poids variés. On établit ainsi des types auxquels on rapporte les essais. Nous aurons occasion de revenir sur ce sujet en parlant plus loin des garances du commerce.

§ VIII. Des substances tinctoriales *et des principes colorables ou colorés qu'elles contiennent.*

Quel ordre suivrons-nous pour l'étude de ces diverses matières? Les rangerons-nous par groupes naturels, présentant de l'analogie dans leur manière d'être soit au point de vue de leur composition chimique, soit au point de vue de leur origine? Les classerons-nous par couleurs, c'est-à-dire d'après les nuances que ces principes fournissent dans leur application à l'art de la teinture? La première méthode conviendrait mieux assurément dans des leçons de chimie pure; la seconde nous semble préférable dans un article sur la teinture, et c'est celle que nous adopterons. Toutefois, nous devons dire que ce travail ne comporterait pas, sans des développements trop considérables, l'étude complète de chacun des principes colorants que nous avons mentionnés. Il ne rentre pas dans le cadre que nous nous sommes tracé de faire un travail *ex professo*, ni de rien répéter de ce qui se trouve déjà décrit dans ce Dictionnaire au titre spécial des diverses matières tinctoriales antérieurement traitées. Nous croyons devoir nous borner à renvoyer le lecteur aux articles GARANCE, INDIGO, etc., déjà publiés. Nous n'aurons à développer que les points nouveaux ou les faits que l'industrie a cru pouvoir enregistrer depuis l'époque à laquelle a paru le deuxième tirage du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* (1835). On a d'ailleurs fait, dans ces dernières années, des conquêtes importantes, comme on pourra le voir par l'exposé que nous allons présenter.

Classification de M. Chevreul.

La méthode que nous allons suivre à l'effet de classer les couleurs repose sur les procédés mis en relief par M. Chevreul pour nommer et définir les couleurs. D'après M. Chevreul, toutes les couleurs se suivent dans un ordre circulaire rouge, violet, bleu, vert, jaune-orangé. Ce serait ici le lieu de placer une analyse étendue de la construction hémisphérique de M. Chevreul; mais comme elle est présentée dans ce Dictionnaire, CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS, nous nous bornerons, en renvoyant le lecteur à cet article, à donner ici quelques détails qui font comprendre comment on a pu passer de la construction hémisphérique aux tables chromatiques dont la pratique est facile à saisir.

Couleurs pures. — On sait que toute couleur est *simple* ou *composée*, *franche* ou *éteinte*, c'est-à-dire *pure* ou *rompue*, comme on le dit en peinture; *vive* ou *rabattue*, comme on le dit en teinture. Comment M. Chevreul propose-t-il de comparer et de définir les couleurs et leurs modifications? On suppose un cercle : on le partage en trois parties égales par trois rayons; à l'extrémité de l'un quelconque de ces trois rayons, on écrit *rouge*; à l'extrémité du rayon de droite, on écrit *jaune*; à l'extrémité de celui de gauche, on écrit *bleu*. On partage de nouveau chacun des intervalles ainsi formés par de nouveaux rayons qui se nomment *orangé*, entre le rouge et le jaune; *vert*, entre le jaune et le bleu; *violet*, entre le rouge et le bleu. En partageant encore en deux chacun des six espaces formés, on obtient le *rouge-orangé*, *l'orangé-jaune*, le *jaune-vert*, le *vert-bleu*, le *bleu-violet* et le *violet-rouge*. On divise alors chacun des intervalles cités en six parties égales en remplissant par exemple la première à partir du rayon sécant rouge avec du rouge, les cinq autres par des mélanges convenablement composés de rouge et de jaune pour permettre le passage insensible et toujours par équidistances d'une couleur à sa voisine; les cinq espaces en question prennent les noms de premier rouge, deuxième rouge, troisième rouge, quatrième rouge, cinquième rouge; on continue de la même manière pour toutes les autres couleurs.

Le cercle primitif se trouve donc remplacé par un nouveau cercle formé de soixante-douze parties angulaires égales, ayant toutes leur angle le plus aigu sur le centre du cercle et nommées invariablement. On conçoit que toute couleur simple ou composée, mais *pure*, c'est-à dire sans mélange de gris, se trouvera forcément correspondre à l'un quelconque des soixante-douze types primitifs en supposant qu'elle ne soit pas comprise entre deux types consécutifs. Les nuances sont d'ailleurs assez rapprochées pour que ce cas ne se présente que rarement. On peut, au surplus, faire l'intercallation par 1/2, 1/3, 1/4, etc.

Couleurs rabattues. — Les couleurs *rabattues* sont, de même, définies au moyen de types ou de normes qui s'établissent avec la plus grande facilité. A cet effet, on suppose placé sur chacune des couleurs préparées dans le premier cercle un quart de cercle perpendiculaire au plan du premier. Supposons-le divisé par des rayons équidistants en dix parties égales; on obtient dix espaces qu'on remplit du ton qui leur correspond modifié pour le premier par $\frac{1}{10}$ de noir, pour le second par $\frac{2}{10}$ de noir, pour le troisième par $\frac{3}{10}$ de noir et ainsi de suite jusqu'au dernier, ou $\frac{10}{10}$ de noir qui donne le *noir pur*.

Pour l'exécution pratique de la construction chromatique hémisphérique, on la réduit à dix cercles chromatiques. Le premier comprend les couleurs pures, le deuxième cercle contient les gammes rabattues par $\frac{1}{10}$ de noir; le troisième, celles rabattues, porte $\frac{2}{10}$ de noir, etc.

Couleurs dégradées. — Toutes les couleurs pures ne sont pas également intenses, la puissance de la coloration peut être atténuée par du blanc. M. Chevreul indique la hauteur de la couleur par la distance de cette couleur au centre du cercle et voici comment : on a marqué sur l'un quelconque des rayons qui séparent les soixante-douze nuances vingt et un points également espacés, et par ces vingt et un points on fait passer vingt et une circonférences, qui divisent en vingt-deux espaces toutes les bandes angulaires correspondantes aux soixante-douze nuances. Pour remplir chacune de ces divisions, on suppose toutes les nuances dégradées de telle façon que le centre étant blanc, le premier espace est légèrement teinté, le deuxième un peu plus, le troisième encore davantage, jusqu'au vingtième qui est près du noir. Toutes ces couleurs sont encore équidistantes au point de vue de l'effet qu'elles produisent sur l'œil. La première division est marquée 0, c'est le blanc; la dernière est le

noir, elle est marquée 21. L'ensemble de cette dégradation se nomme *gamme;* il y en aurait donc soixante-douze dans le cercle complet. Les parties de cette gamme se nomment *tons*; le ton compris entre la première et la seconde circonférence se nomme le *premier ton*; celui composé entre la seconde et la troisième circonférence se nomme *deuxième ton*, et ainsi de suite.

On voit que cette méthode se rapproche beaucoup de celle en usage en géométrie pour déterminer la position d'un point dans l'espace, lorsqu'on la rapporte à un système de trois axes perpendiculaires entre eux.

On peut commencer indifféremment l'étude des couleurs par l'une ou l'autre nuance simple. Nous présenterons d'abord les caractères des matières tinctoriales propres à fournir le rouge, en passant aux matières bleues, puis aux matières colorantes jaunes. Nous les grouperons sans avoir égard à leur origine animale ou végétale, comme aussi sans nous astreindre à d'autre ordre que leur nuance, qu'elles se développent soit par des transformations de laboratoire, soit simplement par le traitement du bois, de l'écorce, des racines ou des fleurs des végétaux employés dans les bains de teinture.

Il semble admis en principe aujourd'hui que les noms des matières pures qui donnent leur valeur aux substances tinctoriales doivent dériver du nom de la substance elle-même qu'on termine en *ine*, lorsque le principe est colorable (*orcine*) et en *éine* lorsque la matière est colorée (*orcéine*). Nous adopterons cette nomenclature : si leur caractère est acide on termine leur nom par *ique* (acide *carthamique*, acide *fuchsique*). Pour établir l'uniformité dans le langage, nous ne ferons que de rares exceptions en faveur des principes par trop connus pour être désignés sous de nouveaux noms.

1. Cochenille (*carméine*).

On peut recourir à l'article cochenille de ce Dictionnaire pour apprendre à connaître les diverses variétés de cochenille que le commerce présente. Leur usage et la récolte de cette substance tinctoriale sont aussi suffisamment expliqués pour que nous n'y revenions pas. Nous ferons la même observation en ce qui regarde le kermès ; nous n'aurons plus qu'à décrire ici les caractères chimiques de la matière colorante qui se trouve dans ces diverses substances tinctoriales, matière que MM. Pelletier et Caventou nommaient *carmine* et à laquelle elles doivent leur emploi dans les arts. Nous la nommerons *carméine*.

Carméine. — Lorsqu'après avoir fait macérer la cochenille dans l'éther, pour la priver de quelques matières grasses qui l'accompagnent, on la traite par l'alcool à diverses reprises, il se dépose par refroidissement une matière grasse d'une très-belle couleur rouge. A ce dépôt se réunissent des cristaux qui se forment sous l'influence d'une évaporation plus prolongée. Préparée de cette manière la carméine renferme encore un peu de matière grasse ; pour l'en dépouiller complétement on la fait redissoudre dans de l'alcool à 40 degrés, puis on y ajoute un même volume d'éther ; le mélange se trouble d'abord, s'éclaircit ensuite, et la carméine pure se dépose au bout de quelques jours sous forme d'une poudre rouge qui tapisse les parois du vase.

La carméine est une poudre fusible à 40°. Très-soluble dans l'eau, insoluble dans l'éther, elle ne se dissout bien que dans l'alcool étendu. Le tanin, l'albumine et la gélatine ne troublent pas sa dissolution. Si les acides qui coagulent l'albumine semblent la précipiter, cette réaction est due à la présence des matières animales dont elle n'a pas été complétement dépouillée.

La plupart des acides font virer sa couleur au rouge vif, au rouge jaunâtre, puis au jaune, sans que la carméine soit altérée, s'ils ne sont pas concentrés. L'acide borique ne fait que la rougir, en se comportant comme une base de peu d'énergie.

La potasse, la soude et l'ammoniaque la virent au violet-cramoisi, sans l'altérer, au moins à l'abri du contact de l'air et sans le secours de la chaleur.

La baryte et la strontiane ne la précipitent pas; la chaux forme une laque violette. L'alumine en gelée précipite toute la carméine de l'eau qui la contient. A froid, sa combinaison est d'un très-beau rouge, mais à chaud elle devient cramoisie, puis violette. La présence des alcalis maintient la couleur éclatante, tandis que quelques gouttes d'acide font virer au violet. Le protochlorure d'étain agit sur la carméine comme une base, le bichlorure comme un acide. Les sels neutres d'ammoniaque, de potasse, de soude font virer au violet ; les sursels de ces bases conduisent à l'écarlate, sans qu'il y ait de précipité dans aucun cas. Les sels de baryte, de strontiane, de chaux la font passer au violet ; le sulfate de chaux seul précipite la carméine. Le nitrate de mercure la précipite en écarlate. Le nitrate d'argent paraît être sans action sur elle.

Le chlore fait jaunir la carméine ; l'iode la décompose pareillement. Il en est de même de l'acide sulfurique concentré qui la transforme en une matière noire. L'acide chlorhydrique la modifie ; et sous l'influence de cet acide, il se forme une sorte de résine jaune, amère ; sous l'action de l'acide nitrique, la carméine se transforme en une matière cristallisée dont la composition n'est pas encore déterminée. A chaud, sous l'influence simultanée de l'oxygène et des alcalis, sa décomposition est prompte, la couleur passe du violet au rouge et du rouge au jaune.

M. Preisser a démontré que la carméine résulte de l'altération d'un composé particulier non coloré. Pour l'obtenir, on épuise de la bonne cochenille par l'éther, puis on en fait une forte décoction dans l'eau qu'on traite par l'oxyde de plomb hydraté qui forme avec la matière colorante un précipité volumineux. Ce dépôt est traité par l'hydrogène sulfuré, et la liqueur limpide laisse déposer en refroidissement des cristaux incolores qui deviennent entièrement blancs par des lavages à l'éther et des pressions entre des doubles de papier joseph. C'est ce corps qui prendra le nom de *carmine*.

Le principe incolore duquel dérive la carméine est d'une odeur désagréable. Soluble dans l'eau et l'alcool, peu soluble dans l'éther, il se colore lentement au contact de l'air ; sa dissolution devient d'un jaune-rouge sur les bords par l'ébullition ; elle se colore et dépose par la concentration de magnifiques flocons de carmin le plus pur. Lorsqu'on la fait bouillir avec du bichromate de potasse, il se forme une liqueur rouge qui ne tarde pas à laisser un résidu formé de carmine et d'oxyde de chrome.

Le principe incolore rougit par l'action des acides, surtout par l'action de l'acide nitrique ; il y a dissolution ; les alcalis le colorent de suite en rouge-violet. L'acétate de plomb donne un précipité blanc qui devient d'un bleu foncé par suite de son exposition à l'air.

L'action de la chaleur altère la carmine sous quelque état qu'on la considère ; elle se décompose sans se volatiliser. Les produits de son altération sont ammoniacaux.

La cochenille est employée dans les arts à l'état brut ; on n'en fait pas d'autres préparations que celles du carmin qu'on confectionne pour les besoins de quelques industries.

Lorsqu'on fait des teintures communes, on remplace, comme on le sait, la cochenille par le kermès ou la lake-lake, ou bien encore la lake-dye.

2. Kermès (*carméine*).

Le kermès est le corps desséché de quelques espèces de *coccus*; les plus estimés sont le *coccus quercus*, le

coccus polonicus et le *coccus uva ursi*. Le bon kermès est rouge foncé, plein, d'une odeur agréable. Sa matière colorante a les propriétés de celle de la cochenille. Son usage a beaucoup diminué depuis la découverte de l'Amérique, c'est-à-dire depuis l'introduction du coccus cacti.

Avec le sel d'étain par le procédé employé pour la cochenille, on obtient un écarlate presque aussi beau que celui que donne la cochenille elle-même.

3. Lake-lake (*carméine*).

La *lake-lake* ou lake de *résine lake* résulte du lavage de la résine pulvérisée par de l'eau bouillante légèrement alcalinisée par de la soude. On précipite par l'alun, de l'alumine, la résine et la matière colorante. L'alumine forme un sixième du poids total de la matière; la résine forme un tiers du produit.

4. Lake-dye (*carméine*).

La lake-dye est une résine analogue à la précédente, mais la matière colorante n'y est pas complétement insoluble dans l'eau; on la met en liberté par un traitement acide; on emploie les mordants d'étain pour faire adhérer le principe dissous qui n'est que de la carméine. La lake-dye est assez employée; les progrès de la teinture en répandront l'usage; c'est pour cette raison que nous l'avons indiquée.

5. Samadra indica (*samadérine*).

C'est au même titre que nous mentionnons ici l'existence d'un principe amer dans l'écorce et les fruits du *samadra indica*, arbre qui vient dans l'île de Java; ce principe amer est accompagné d'une huile et d'une résine; il a reçu le nom de *samadérine*. On pourra peut-être utiliser un jour ses dérivés, si l'on parvient à leur donner une certaine solidité.

Samadérine. — Pour obtenir le principe amer du samadra indica, on traite la substance par l'eau, on évapore jusqu'à consistance sirupeuse, et l'on reprend par de petites quantités d'alcool qui laissent la samadérine insoluble; en dissolvant de nouveau dans l'eau et décolorant par le noir animal, on obtient la matière à l'état de pureté. La samadérine est neutre, blanche, sous forme de feuilles cristallines, mais elle donne avec l'acide sulfurique une coloration rouge violet qu'il serait intéressant de rendre persistante. Elle n'est pas volatile.

6. Graine de gremil (*lithospermine*).

Nous transcrivons ici les résultats des recherches de MM. Ludwig et Kromayer sur une matière colorante rouge d'une nature résineuse, sans usage jusqu'aujourd'hui, mais qui peut être utilisée puisque l'écorce du gremil (*lithospermum arvense*) forme un peu plus du cinquième du poids total de la racine. Cette matière est peut-être destinée, sous peu de temps, à prendre rang parmi les substances tinctoriales.

Lorsqu'on traite par l'alcool à 80 degrés additionné d'un peu d'acide acétique l'écorce de la racine du lithospermum arvense, on obtient, en séparant l'alcool par distillation, un résidu aqueux duquel se sépare une résine noirâtre. On sépare cette résine par le filtre pour l'agiter avec l'éther; au bout de quelque temps le liquide qui surnage se colore en gris bleu; en évaporant, on remarque une coloration passagère qui conduit à une résine noire.

Lithospermèine. — La dissolution alcoolique de cette dernière devient d'un beau bleu par l'addition d'un alcali; nous l'appellerons *lithospermèine*. L'acide sulfurique concentré la dissout et la colore en rouge; une addition d'eau provoque un dépôt de résine avec coloration verte. L'acide nitrique la détruit complétement, le carbonate de soude la dissout très-peu; la dissolution se colore en bleu. En ajoutant un peu d'acide sulfurique, le mélange devient d'un beau rouge, dû sans doute à la matière floconneuse qui se sépare et qui se dissout dans l'alcool et dans l'éther. En comparant cette matière à l'anchusèine que MM. Boley et Widler ont trouvée dans l'*alkanna tinctoria*, MM. Ludwig et Kromayer ont vu que ces deux principes se comportent de la même manière avec l'eau, l'alcool et l'éther, mais la lithospermèine se dissout dans l'éther avec coloration bleue, tandis que l'anchusèine se dissout avec une coloration rouge.

D'après M. Kopp, la lithospermèine semble n'être autre chose qu'une huile éthérée résinifiée.

7. Garance (*alizarine, purpurine, xanthine*).

La garance est sans contredit l'une des matières colorantes les plus précieuses que l'on connaisse, tant à cause de sa solidité que par suite de la grande variété des nuances qu'elle peut produire avec les diverses préparations auxquelles on soumet les matières textiles. C'est la racine d'une plante de la famille des rubiacées (*Rubia tinctorum*).

Caractère des racines de garance. — On trouvera dans ce Dictionnaire, à l'article GARANCE, tous les détails les plus précis sur les variétés, la culture, la préparation des garances employées dans les arts; la composition sous le rapport chimique, les diverses préparations qu'on a proposées pour concentrer sous le plus petit volume possible le principe utile de ces racines sont exposées également avec méthode. Nous n'aurons donc pas à les reproduire; nous les compléterons par l'indication sommaire des principaux composés que les chimistes, qui se sont occupés de l'examen des garances ont extraits de cette matière tinctoriale, l'*alizarine*, la *purpurine* et la *xanthine*. La xanthine n'a pas reçu d'application. Les couleurs qui proviennent de la purpurine ne semblent pas avoir toute la solidité désirable; l'alizarine seule est donc la véritable richesse de la racine des rubiacées. C'est sur elle qu'ont porté tous les efforts des fabricants pour l'isoler et la concentrer; c'est sa présence qui doit fixer la valeur réelle du produit.

Alizarine. — L'alizarine se présente à l'état de pureté sous forme de petites aiguilles d'un rouge orangé, inodore, insipide, peu soluble dans l'eau pure à froid, plus soluble à chaud. La dissolution, rosée d'abord, passe bientôt au rouge brunâtre. Les dissolutions acides n'en dissolvent pas; on fait usage dans la pratique de craie pour faciliter la dissolution; l'alcool et l'éther les dissolvent en se colorant en rouge et en jaune.

L'alizarine donne des dissolutions couleur pensée par sa combinaison avec les alcalis solubles, soude, potasse, ammoniaque; ces dissolutions précipitent en bleu par les eaux de chaux, de baryte, de strontiane. L'acide sulfurique concentré la dissout complétement; la solution rouge brun précipite abondamment par l'eau l'alizarine sous forme de flocons jaunâtres, sans altération dans leur composition. La chaleur la fait fondre et sublimer. Peu soluble dans une dissolution d'alun, elle se distingue de la purpurine qui s'y dissout parfaitement.

La méthode la plus convenable pour obtenir l'alizarine est celle de MM. Robiquet et Colin. La garance est traitée par les 2/3 de son poids d'acide sulfurique concentré; on ajoute l'acide par petites proportions, en remuant, pour éviter une trop forte élévation de température. On laisse le tout en repos pendant quelques jours; pendant ce traitement les matières étrangères à l'alizarine sont charbonnées et l'alizarine dissoute. On sépare par des lavages le charbon sulfurique qui retient en mélange l'alizarine déposée par sa séparation de l'acide au moment où l'on a versé l'eau sur le mélange. Le résidu, lavé légèrement avec de l'alcool froid pour séparer quelques matières grasses, est épuisé par l'alcool chaud qui dissout l'alizarine.

Purpurine. — La purpurine ressemble par son aspect à l'alizarine; sa couleur est seulement plus foncée, elle tire un peu plus sur le rouge. L'éther en dissout à peine; la solution évaporée dans le vide laisse des cristaux les uns ponceau clair, les autres ponceau foncé. Elle se dissout dans l'eau plus facilement que l'alizarine. L'ammoniaque, la potasse, la soude donnent avec ce principe des composés de couleur groseille, qui sont précipités en rouge par les eaux de baryte, de strontiane et de chaux.

La dissolution de la purpurine dans l'acide sulfurique est d'un rouge plus vif que celle de l'alizarine; l'eau la précipite sous forme de flocons d'un jaunâtre foncé.

L'alun dissout la purpurine en donnant une liqueur rose d'une très-belle nuance. La purpurine est très-fusible, et donne, par le refroidissement, une masse à cristaux radiés; elle se volatilise, et les cristaux qui se condensent sont plus foncés que ceux d'alizarine sublimée. Traitée par l'ammoniaque, la purpurine distillée donne une dissolution d'un rouge violacé très-vif.

Pour obtenir la purpurine, on lave la garance à grande eau, et on la traite ensuite par une dissolution d'alun dans l'eau distillée. Cette dissolution, qui formerait avec le carbonate de soude ou l'ammoniaque une laque rose, précipite par l'acide sulfurique de la purpurine qu'on purifie soit par sublimation, soit par des cristallisations répétées dans l'alcool.

La purpurine donne des couleurs plus rosées que celles extraites de l'alizarine, mais elles sont moins solides.

Xanthine. — M. Kuhlmann a donné le nom de xanthine à la matière colorante jaune de la garance; elle se présente sous forme d'extrait de couleur orangée foncée, très-soluble dans l'alcool et dans l'eau; elle ne se dissout que faiblement dans l'éther; les acides la font virer au jaune citron, les alcalis à l'orangé rougeâtre.

L'acide sulfurique précipite de sa dissolution une poudre verte qui ne se dissout pas dans l'eau. C'est elle qui communique à la garance son odeur particulière; elle possède une saveur légèrement sucrée avec un arrière-goût amer. Si les sels métalliques ne la précipitent pas de ses dissolutions, elle donne, avec certains oxydes métalliques, des laques rouges ou roses très-brillantes.

Pour préparer la xanthine, on évapore à siccité l'extrait alcoolique de la garance, puis on le fait digérer avec l'eau froide qui ne dissout que la xanthine; elle entraîne une matière étrangère qu'on précipite avec l'acétate de plomb. On filtre, et dans la liquide clair on ajoute de l'eau de baryte en léger excès; on obtient un dépôt formé d'oxyde de plomb et de xanthine. Ce dépôt est lavé par de l'eau chargée de baryte; on ajoute de l'acide sulfurique qui transforme l'oxyde de plomb en sulfate de plomb; on sature exactement par de la baryte l'excès d'acide sulfurique, il se dépose du sulfate de baryte, et ce mélange solide est traité par l'alcool après évaporation à siccité; l'alcool ne dissout que la xanthine qui se dépose par refroidissement et concentration.

Il est évident que ces trois matières sont les principes utiles des bains de garance, et qui fournissent la couleur aux fibres textiles. On a donc cherché, par des moyens variés et même fort détournés, des méthodes propres à les concentrer pour remplacer la garance elle-même par des substances tinctoriales dérivées de la garance, offrant au consommateur sous un petit volume ces éléments en quelque sorte condensés, mais dans tous les cas dépouillés de la majeure partie des éléments étrangers. On sait, d'après l'article GARANCE, que la commerce a fini par accepter la colorine, la garancine et le garanceux, qu'on prépare actuellement pour les besoins de la teinture sur une grande échelle. On commence à faire pénétrer dans les ateliers des produits qu'on peut regarder comme de l'alizarine presque pure. On a fait de nombreux essais. Quelques-uns sont à la veille de recevoir une solution pratique consacrée par l'expérience. Les diverses méthodes d'extraction reposent sur les diverses propriétés de l'alizarine que nous venons de mentionner. Comme on le rappelle dans le *Repertoire de chimie* (t. I, p. 43, *Barreswill*). Elles sont variées.

Pour extraire la matière colorante des racines de garance, on a tour à tour utilisé son peu de solubilité dans l'eau froide, sa presque insolubilité dans des liqueurs acides, et sa solubilité dans l'alcool, l'esprit de bois, le sulfure de carbone, les huiles grasses, les alcalis caustiques ou carbonatés, et la solution aqueuse et bouillante d'alun. La racine de garance, fraîche et n'ayant point encore subi cette espèce de fermentation mal connue par laquelle sa force colorante se développe avec le temps jusqu'à un certain maximum, à partir duquel elle diminue de nouveau, contiendrait, d'après les recherches de MM. Schunck et Rochleder, une substance particulière qui, n'étant pas par elle-même une matière colorante, formerait à l'ébullition avec les acides étendus par dédoublement de l'alizarine et une matière sucrée particulière. De ce fait on peut tirer la conséquence que la préparation rationnelle de l'alizarine ou des extraits alizariques ne doit point porter sur la garance en nature ou sur la garance lavée (fleurs de garance), mais sur la garance préalablement soumise à l'ébullition avec une liqueur acide, c'est-à-dire sur la garancine ou le carmin de garance. Cette conclusion est confirmée par les observations anciennes de M. Decaisne, et par celles plus récentes de MM. Gerber et Dollfus.

Azale. — Pour préparer leur extrait purifié, qu'ils nomment *azale*, MM. Gerber et Dollfus épuisent la fleur de garance par de l'esprit de bois bouillant, concentrent les liqueurs ainsi obtenues et y ajoutent ensuite une certaine quantité d'eau pour en précipiter la matière colorante. Ils obtiennent généralement 6,75 p. 100 d'extrait brut d'une couleur jaune brunâtre. En traitant ensuite la fleur de garance déjà bien épuisée par l'esprit de bois seul au moyen d'une nouvelle addition de ce liquide, rendu légèrement acide par 1 p. 100 d'acide sulfurique, ils produisent de nouvelles liqueurs colorées, fournissant presque autant d'extrait que le premier traitement. Le résidu ligneux ne contenait alors plus de traces de matière colorante.

Alizarine commerciale. — D'après MM. Verdeil et Michel, l'alizarine presque pure est préparée par la méthode suivante :

On fait ramollir les racines de garance dans une eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique; on écrase entre des cylindres la pulpe acidifiée pour éliminer une certaine quantité de liquide; on termine par l'action d'une forte presse hydraulique. Les racines ainsi préparées sont ensuite macérées pendant quarante-huit heures dans une solution faible de carbonate de soude ou de potasse marquant 2 à 4° Baumé.

On sépare par l'expression le liquide alcalin chargé de matière colorante et on renouvelle la macération, mais en employant pour cette seconde opération une liqueur alcaline moitié plus faible. On précipite la matière colorante encore impure de ces liqueurs alcalines en les sursaturant par un acide.

Le précipité recueilli sur un filtre, lavé avec un peu d'eau, exprimé et desséché, est ensuite épuisé par de l'esprit de bois ou de l'alcool bouillant. Les solutions alcooliques clarifiées sont enfin concentrées dans un alambic pour retrouver l'alcool ou l'esprit de bois, et l'extrait purifié reste comme résidu dans l'appareil

distillatoire. Cet extrait peut servir soit pour la teinture, soit pour l'impression. Généralement de pareils extraits renferment encore une certaine quantité de matières résineuses qui nuisent soit à la pureté, soit à la vivacité des teintes. Ces matières résineuses étant moins solubles dans des solutions chargées de sels que dans l'eau pure, on pourrait trouver dans cette circonstance l'explication de l'effet avantageux que M. Gatey a dit récemment avoir obtenu par l'addition de sel marin au bain de teinture, lorsqu'on teint des toiles préparées en garance, garancine et alizarine.

Pour séparer les matières résineuses de l'alizarine, on peut utiliser les observations intéressantes de MM. Plessy et Schützenberger sur la solubilité de l'alizarine dans l'eau surchauffée sous de fortes pressions. Ces chimistes ont constaté que de l'eau, dont la température est à 250 degrés, dissout 3,15 p. 100 de son poids d'alizarine, tandis qu'à la température de 10 degrés elle n'en dissout que 0,034 p. 100.

On pourrait encore, d'après les observations de M. Arnaudon, faire usage de la glycérine pour dissoudre l'alizarine.

Alizarine sublimée. — M. Kopp a purifié cette matière en sublimant l'alizarine après avoir chauffé graduellement et avec beaucoup de précaution un extrait très-concentré. La sublimation de l'alizarine, indiquée par MM. Robiquet et Colin, est une opération très-connue et pratiquée par tous les chimistes et industriels qui se sont occupés de recherches sur la matière colorante de la garance. Mais on sait qu'elle ne réussit bien que sur de petites quantités de matières, et qu'elle exige des substances déjà purifiées. En outre, l'opération entraîne toujours la perte d'une quantité notable d'alizarine. D'ailleurs, comme la vapeur de l'alizarine est très-pesante, elle ne s'élève que difficilement, et lorsqu'on est obligé de la chasser à une certaine hauteur, ce qui est le cas lorsque l'alizarine est accompagnée de beaucoup de matières étrangères, il arrive inévitablement qu'elle se décompose au moment même de sa sublimation. On n'obtient, en effet, que des quantités très-minimes d'alizarine en chauffant directement la garance, la fleur de garance et la garancine.

Au reste, le ligneux et l'acide pectique, comme aussi toutes les substances résineuses qui souillent ces extraits, éprouvent aussi la décomposition sèche, et les cristaux d'alizarine sont souillés de quantités plus ou moins considérables de matières empyreumatiques. Pour éviter ce dernier inconvénient, M. Vilmorin, d'une part, et M. Stackler, d'autre part, voulant se procurer une alizarine pure, ont modifié l'ancien procédé de MM. Gaultier de Claubry et Persoz, en épuisant la garancine lavée, ou l'extrait alcoolique de garance par des solutions bouillantes d'alun, d'ammoniaque ou de potasse.

La liqueur filtrée, possédant une belle couleur rouge orange, est séchée dans un bain-marie. En l'agitant fréquemment, on obtient une poudre cristalline d'alun revêtue d'alizarine amorphe. Le produit desséché est broyé, puis épuisé à son tour par de l'alcool, de l'esprit de bois ou du sulfure de carbone bouillant; la solution filtrée, bouillante, donne par le refroidissement des aiguilles jaunes et soyeuses d'alizarine pure. M. Barreswill, auquel j'emprunte ces détails intéressants, a fait les mêmes observations, en traitant de la laque de garance récemment préparée, bien lavée et encore humide, par du bisulfate de potasse en solution bouillante et concentrée. Les produits de la réaction sont de l'alun, du sulfate neutre de potasse, et la matière colorante est mise en liberté. On évapore le tout à siccité au bain-marie, on broie le résidu desséché et on l'épuise par l'esprit de bois, l'alcool ou le sulfure de carbone.

L'altération qui se produit ordinairement dans la sublimation de l'alizarine disparaît lorsque la vapeur de ce corps, au moment même de son apparition, se trouve entraînée mécaniquement et soustraite à l'action ultérieure de la chaleur. On y arrive en sublimant et distillant l'alizarine dans un courant un peu rapide de vapeur d'eau surchauffée. Il est préférable d'opérer directement sur la garancine. On la prépare à la manière ordinaire, par ébullition de la garance broyée dans l'acide sulfurique étendu, lavage jusqu'à ce que les liqueurs ne soient presque plus acides, expression à la presse hydraulique, et dessiccation dans une étuve.

Il n'est pas indispensable de neutraliser les dernières traces d'acide, comme cela se fait ordinairement par l'addition d'une petite quantité de craie ou de carbonate de soude, puisque, à la température à laquelle se sublime l'alizarine, ces traces d'acide sulfurique réagissent plutôt sur l'acide pectique et le ligneux que sur la matière colorante.

Graduer exactement la température de la vapeur d'eau surchauffée et la maintenir constante pendant un temps donné, tels sont les deux points essentiels à réaliser.

M. Kopp, auquel on doit l'idée de ce perfectionnement, a fait connaître un appareil qui conduit à ces résultats.

La vapeur provenant d'un générateur passe dans une série de tuyaux, sorte de jeu d'orgue disposé dans un four à reverbère; la flamme circule autour de ces tuyaux; la vapeur s'échauffe et acquiert une température convenablement élevée : à sa sortie du four, elle se rend dans une petite chambre de fonte où aboutit également un tuyau de vapeur provenant directement du générateur; au moyen de cette disposition ingénieuse, en réglant les quantités de l'une et de l'autre, on peut obtenir une température régulière entre 100 à 350 degrés centigrades.

La vapeur à température réglée est conduite, au sortir de la chambre en fonte, dans un cylindre de fonte ou de cuivre qui renferme, entre deux diaphragmes, la garancine sèche réduite en fragments de la grosseur d'une noix. Ce cylindre est lui-même enveloppé d'un autre cylindre concentrique, qui reçoit de la vapeur surchauffée dans le but d'éviter la déperdition de chaleur du cylindre enveloppé; cette vapeur se perd directement dans l'air.

La vapeur passant sur la garancine entraîne l'alizarine et la porte dans le réfrigérant. Celui-ci se partage en deux parties : la première, conservant une température de 100 degrés, reçoit l'alizarine condensée; la deuxième, refroidie complétement, fournit de la vapeur liquéfiée; on rassemble sur un filtre l'alizarine sublimée. Les eaux de condensation sont réunies et destinées à la teinture ou à la confection de la liqueur de garance.

Des racines de garance traitées dans cet appareil se recouvrent d'alizarine qui doit ainsi s'y trouver toute formée.

Essais des garances. — Nous avons dit que la valeur de l'alizarine est encore considérable, environ 100 fr. le kilogramme. On a cherché par différents moyens à falsifier les produits qui la contiennent, depuis les racines de garance jusqu'à ses dérivés. Aussi c'est à ces produits qu'on a, dans ces dernières années, tenté d'appliquer les modes de contrôle les plus variés et les plus intelligents. Tout récemment encore le *Bulletin de la Société de Mulhouse*, n° 146-1859, reproduit un mémoire de M. Pernod sur ce sujet bien digne de fixer l'attention. Nous reproduisons les réflexions que fait à cette occasion M. Barreswill dans le *Répertoire de chimie*, t. I, p. 218. Nous les ferons suivre des nu-

thodes qui ont été proposées jusqu'à ce jour pour essayer les garances, garancines, colorines, etc. Elles sont basées sur des principes variés et dont on fait usage souvent concurremment pour contrôler les résultats les uns par les autres. Nous comblerons ainsi la lacune que présente l'article GARANCE contenu dans le second volume de cet ouvrage.

Les observations de M. Pernod sont utiles à consigner. L'auteur admet que la garance et la garancine pourraient être falsifiées soit par des substances astringentes renfermant une quantité plus ou moins grande de tanin, soit par certains bois de teinture; il propose un procédé simple et facile pour déjouer une pareille fraude.

On plonge dans une dissolution de sulfate de fer, partiellement oxydée par l'air atmosphérique, une feuille de papier blanc peu collé que l'on sèche d'une manière complète en l'exposant à l'air ou mieux à une douce chaleur; on verse ensuite sur ce papier une petite quantité d'alcool à 87 ou 88 degrés, et pour l'humecter la plus uniformément possible on le suspend par un angle. Ainsi préparée, cette feuille est placée sur une feuille de verre et saupoudrée, à l'aide d'un tamis de soie assez fin, d'une très-petite quantité de la poudre à essayer, en ayant soin, lors du tamisage, de placer le tamis très-près de la feuille de papier, précaution nécessaire pour le cas où les substances mêlées à la garance seraient ou plus fines ou plus légères que celle-ci.

Lorsque l'alcool est complétement évaporé, on lave le papier à l'eau commune et l'on observe la couleur qu'il a prise.

Si la garance est pure, on n'a qu'une coloration rouille ou brun clair; est-elle falsifiée, des taches particulières produites par la poudre étrangère apparaissent avec une couleur qui trahit la nature de l'addition. En effet, ces taches sont bleues si l'adultération a pour cause une poudre renfermant du tanin; elles se produisent quand même la poudre étrangère ne cède rien à l'eau (tels seraient, par exemple, l'écorce et le fruit du pin), attendu que l'alcool qui mouille le papier, mouillant aussi ces substances, en isole facilement la matière astringente.

Si l'on veut rechercher la présence d'un bois coloré, tel que le bois de Brésil, le campêche, le cuba, etc., on imprègne le papier de bichlorure d'étain au lieu d'employer le sulfate de fer, puis on le place sur une lame de verre et on le saupoudre comme il a été dit. Les moindres parcelles de campêche marquent en violet, le brésil en cramoisi; le cuba se révèle par une coloration jaune.

« Ce procédé est, en somme, simple et facile à exécuter au moment de la réception des marchandises. Il est bon que de semblables moyens soient mis à la disposition de l'acheteur, si l'on veut en finir avec la fraude commerciale qui, jamais en aucun temps, n'a été plus générale qu'elle n'est aujourd'hui. Le plus souvent, une expérience aussi simple que celle de M. Pernod suffirait pour mettre en garde contre la sophistication qu'encourage l'acheteur par son apathie. »

Lorsque l'on s'est assuré de la nature de la falsification, il faut rechercher dans quelle proportion elle affecte la valeur de la marchandise. On a pour atteindre ce but différents moyens approximatifs. Nous allons les exposer en rappelant d'une manière sommaire les principes sur lesquels ils reposent.

Lorsqu'on ajoute aux garances, dans le but d'en augmenter le poids, des matières étrangères telles que de la brique pilée, des sables et des argiles, il suffit de délayer la garance suspecte avec 100 à 150 fois son poids d'eau. La garance reste suspendue sur l'eau, et les impuretés dont la pesanteur spécifique est beaucoup plus considérable tombent au fond; on peut en évaluer la quantité approximativement par décantation.

Une seconde méthode plus exacte consiste à faire l'incinération d'un poids donné de matière. On compare le résidu sous le double rapport des proportions et de la qualité (toutes choses égales d'ailleurs) avec celui que laissent les garances pures d'origine connue.

Les garances pures séchées à 100 degrés peuvent ne renfermer que 5 p. 100 de cendres inorganiques; des essais nombreux ont fixé les limites supérieures du poids du résidu que doit fournir une incinération complète. MM. Girardin et Labillardière ont constaté 8.80 p. 100 dans l'alizari de Provence avec son épiderme; d'après M. Chevreul l'alizari du Levant contient 9.80 de cendres; suivant M. Schlumberger, l'alizari d'Alsace en renferme 7, et celui d'Avignon 8.76. — On voit, d'après ces chiffres, que la quantité de cendres n'est pas constante, mais qu'il est probable qu'on ne se trompera pas beaucoup en admettant que ce qui dépasse 9 à 10 est le résultat d'une sophistication. Certains échantillons pris dans le commerce ont fourni jusqu'à 25 p. 100 de cendres.

Lorsque la falsification des garances se fait au moyen des matières organiques colorées ou non, les moyens sont moins rigoureux et dans tous les cas beaucoup moins simples. On recherche surtout à doser le principe colorant propre à la garance, et les méthodes employées donnent la valeur tinctoriale de l'échantillon soumis à l'essai.

Dans l'une de ces méthodes proposée par M. Meillet on prend 10 kilog. de garance; on fait dissoudre 2 kilog. d'alun dans 20 litres d'eau marquant 60 degrés centigrades; on porte le tout lentement à l'ébullition, qu'on maintient pendant une demi-heure. La décoction est jetée sur des toiles; on l'exprime fortement; trois traitements pareils suffisent pour épuiser la garance. On laisse reposer le liquide pendant quelque temps, puis on y jette, avant le complet refroidissement des liqueurs mélangées, 625 gr. d'acide sulfurique à 66° étendu de deux fois son poids d'eau. Il se précipite d'épais flocons rougeâtres qui ne tardent pas à gagner le fond de la liqueur, celle-ci passe du rouge pourpre au jaune verdâtre; on décante les liqueurs surnageantes, on lave le résidu à plusieurs reprises, et lorsqu'il est sec par son exposition à l'air libre, il forme des écailles luisantes d'un jaune brun. Dans cet état, l'alizarine ne serait pas encore pure; on fait chauffer le précipité non encore desséché dans une liqueur alcaline, formée d'une partie d'alizarine impure, une partie et demie de carbonate de potasse et douze parties d'eau. On sature le carbonate par l'acide sulfurique, et le nouveau précipité constitue l'alizarine que M. Meillet regarde comme l'alizarine pure et qu'il a proposé pour les usages de la teinture. Les belles garances SF rendent en général de 2 à 2 1/2 p. 100 d'alizarine, quelquefois 3 p. 100.

J'emprunte au traité de M. Persoz l'analyse qu'il a présentée du procédé pratique suivi par M. Schlumberger. Ce procédé consiste à teindre au moyen d'un poids constant de garance une quantité donnée de toile mordancée; et à comparer cette toile teinte, puis avivée, à une gamme de teinture dont la gradation des teintes correspond à des doses connues de garance. Dans ce but on prépare d'avance une certaine quantité de toile mordancée, en ayant soin, lorsqu'elle est épuisée et qu'on doit le remplacer, d'employer les mêmes mordants et d'opérer dans les mêmes conditions. M. Schlumberger se sert d'un dessin à fond d'un double rouge. Ce fond doit, en outre, être à double violet avec noir et blanc, quand on veut juger de toutes les nuances que fournit la garance. On se procure ensuite une petite chaudière de 2 décimètres de haut sur 3 à 5 décimètres de diamètre, selon le nombre d'essais qu'on se propose de faire. A 3 ou 4 centimètres du fond de cette chaudière, on fixe une grille sur laquelle on pose des flacons

à large col de plus d'un litre de capacité chacun. La chaudière doit être munie d'un couvercle percé de trous par lesquels sortent les orifices des flacons qui se trouvent ainsi parfaitement maintenus.

« Pour former la gamme qui doit servir plus tard à estimer, par comparaison, la valeur relative des garances, on coupe des morceaux égaux de toile mordancée de 0m,327, carrés par exemple, puis choisissant une garance de la pureté de laquelle on est parfaitement certain et qui donne en teinture de bons résultats, on en fait des pesées exactes de 1, 2, 3 et 15 gr., proportion insuffisante pour saturer les mordants. Ces divers poids sont mis chacun avec un échantillon dans les flacons placés dans la chaudière et qui renferment 750 gr. d'eau distillée préalablement amenée vers 40 degrés centigrades. La chaudière, faisant fonction de bain-marie, est placée sur un réchaud de charbon embrasé recouvert d'une plaque de fer; on ferme le cendrier pour avoir un feu régulier tel que la température du liquide ne s'élève que de 5 degrés par quart d'heure, et qu'après une heure et 30 minutes elle soit arrivée vers 70°. On pousse alors le bain-marie à l'ébullition, on maintient la température de 100 degrés pendant une demi-heure. Cette première teinture finie, les échantillons correspondant au nombre de grammes de garance employés pour les teindre sont retirés des flacons pour être dégorgés, lavés et séchés; chacun d'eux est alors coupé pour former deux parties égales. Une série est conservée telle qu'elle sort du dernier rinçage, une série est soumise à la nouvelle teinture, mais avec la moitié seulement de la garance employée dans la première opération. Après cette dernière teinture, on dégorge, on lave, on dessèche de nouveau, puis on divise les échantillons en deux nouvelles parties; une série se trouve encore conservée, tandis que les autres sont destinées à subir les opérations de l'avivage pour fixer le fabricant sur l'éclat et la solidité de la nuance fournie par la garance choisie pour type. S'il s'agit d'un dessin à double fond rouge, l'avivage se fait dans une petite chaudière de cuivre bien étamée où l'on introduit avec 4 litres d'eau chaude à 60 degrés 10 gr. de savon et la dernière série des échantillons; on maintient le tout à la même température pendant une demi-heure, puis on remplace le bain de savon par un autre bain chauffé pendant le même temps et à la même température que le précédent, et composé de 4 kilogr. d'eau et 5 gr. d'acide nitrique d'une densité de 1,327; ce second bain est remplacé par un bain de savon semblable au premier, mais qui cette fois est chauffé jusqu'à l'ébullition. Ajoutons qu'après chaque passage les échantillons sont dégorgés et rincés avec soin.

Ces opérations terminées, on a donc :

1° Une première série d'échantillons qui ont reçu une première teinture dont l'intensité de la nuance est proportionnelle à la quantité de garance employée, quantité qui n'a pas suffi pour saturer la préparation (le mordant); ils sont restés sans avivage.

2° Une seconde série qui a reçu la seconde teinture, dont le ton est par conséquent double de la précédente, et parmi lesquels il s'en trouve dont les mordants ont été saturés de matière colorante.

3° Enfin une série qui a subi l'avivage, et d'après laquelle on peut juger de la vivacité de la nuance tout aussi bien que de sa solidité. Chaque échantillon a reçu un numéro qui correspond à la quantité de garance employée pour le teindre. Le n° 4 de la première série, par exemple, aura donc été fait avec 4 gr. de garance normale.

Ceci posé, veut-on évaluer la richesse d'une garance? On en prend 10 grammes avec lesquels on teint 0m,327 centimètres carrés de toile mordancée; la première teinture achevée, on dégorge, on rince, on sèche, puis on compare avec la première série des normes. Si l'intensité de la nuance correspond à l'échantillon qui porte le n° 9, c'est une preuve que la garance est à la garance normale dans le rapport de 9 à 10. Si l'on représente par 100 la valeur du type, celle de la prise d'essai ne serait que 90.

Si l'on veut constater d'une manière beaucoup plus sincère la qualité de la garance, il convient de pousser l'essai plus loin; car le pouvoir tinctorial de la teintures peut être augmenté par des couleurs étrangères peu solides, ou même par des substances qui contribuent d'elles-mêmes au développement de la matière tinctoriale de la garance. C'est alors qu'on fait subir à la moitié du premier échantillon teint une seconde teinture, mais avec 5 grammes seulement de garance, et l'on répète toutes les précautions décrites. Une portion de ces échantillons teints est comparée lorsqu'elle est sèche avec les normes de la seconde et ceux de la troisième série.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer donnent la marche à suivre pour les essais pratiques auxquels on peut soumettre toute matière colorante qui se fixe par l'intermédiaire d'une préparation déterminée. Nous n'aurons qu'à rappeler cette méthode, qui peut être maintenant suffisamment comprise.

Nous ne terminerons pas cet article sans transcrire ici deux desiderata formulés dans le programme des prix proposés par la Société de Mulhouse.

Un échantillon de racines de garance, d'origine algérienne, a été comparé par son comité des arts chimiques avec une garance rosée d'Avignon et trouvé de bonne qualité. Comme elle n'avait qu'un an de terre, elle aurait pu présenter encore des résultats plus satisfaisants.

« Certaines parties de l'Algérie semblent donc propres à fournir cette matière tinctoriale; mais indépendamment de la qualité du produit, il y a des conditions économiques très-importantes que le cultivateur ne doit pas perdre de vue; le prix de la terre, celui de la main-d'œuvre et de l'engrais, le climat, les circonstances atmosphériques, et particulièrement la nature du terrain, qui a tant d'influence sur la qualité de la racine récoltée, sont autant de conditions qui demandent une étude sérieuse. »

La culture des garances n'est pas le seul point sur lequel la Société de Mulhouse attire l'attention. Les laques de garance, dont l'impression des tissus fait usage, proviennent de dissolutions alumineuses précipitées par des alcalis ou des sels alcalins. En retirant de l'alumine à ces laques ou en les traitant par des eaux de garance, elles peuvent devenir plus foncées, mais c'est toujours au détriment de leur vivacité. L'industrie accueillerait donc avec faveur des laques d'alumine et de fer ayant le ton des couleurs garancées après l'avivage. Il faudrait « que la laque à base d'alumine soit égale non pas à du rose, mais à de rouge avivé, et que celle du fer soit égale aux violets savonnés. » Dans tous les cas, le prix de revient de ces couleurs ne devrait pas en rendre l'application plus coûteuse que par voie de teinture.

M. Khittel prépare pour remplacer ces laques, comme les couleurs d'application, un extrait concentré dérivé de la garanceine qu'on traite par des solutions bouillantes d'alun. 4 kilog. sont épuisés une première fois par 2 kilog. d'alun dans 64 parties d'eau, une deuxième fois par 1 kilog. d'alun dans 64 kilog. d'eau, une troisième par 500 grammes d'alun dans 64 kilog. d'eau, une dernière fois par 40 litres d'eau pure; les liqueurs sont réunies et traitées par 500 gr. d'acide sulfurique, à 50 degrés Baumé: on remue, on laisse déposer, on décante et on lave. On obtient de la sorte une pâte orange ou brun rouge qu'il faut dépouiller des traces de parties ligneuses qui sont échappées à la filtration; à cet effet, 10 kilog. d'extrait pâteux sont traités par

4 kilog. d'ammoniaque caustique ; on étend ensuite au bout de quelques heures dans 4 à 8 litres d'eau.

La solution ammoniacale, épaissie facilement à la gomme, sert à l'impression ; elle présente une magnifique couleur violette, et peut être conservée sans altération dans des vases fermés ; elle s'imprime sans difficulté, comme nous le verrons en nous occupant de la teinture proprement dite.

8. Bois de Brésil (*brésiline, brésiléine*).

La dénomination de bois de Brésil ou de Fernambouc, simplement *brésil* dans le commerce, s'applique à plusieurs espèces de bois provenant de différents arbres du genre cæsalpinia. Ces bois renferment tous une matière colorante rouge à laquelle M. Chevreul a donné le nom de *brésiline*, et dont nous nous occuperons particulièrement ici, renvoyant aux articles BOIS DE TEINTURE et EXTRAITS de ce Dictionnaire pour les renseignements qui concernent les bois eux-mêmes.

Caractères de la décoction. — L'infusion aqueuse de bois de Brésil précipite par la chaux, par la baryte, par le protochlorure d'étain, par l'acétate de plomb des laques d'un rouge cramoisi. On l'emploie dans les Indes depuis les temps les plus reculés. On n'en avait jamais fait usage en Europe avant la découverte de l'Amérique. On s'en sert pour obtenir la teinture en cramoisi ; la décoction doit être conservée plusieurs mois pour donner des tons vigoureux. On arrivera peut être à trouver des nuances solides ; quant à présent, les couleurs qu'on en obtient manquent de fixité, elles sont dues à la *brésiléine*.

Brésiléine. — La brésiléine pure cristallise en petites aiguilles de couleur orangée, solubles dans l'eau, l'alcool et l'éther ; l'acide sulfhydrique décolore sa dissolution aqueuse, elle vire au jaune par quelques gouttes d'acide sulfurique ; les alcalis forment avec elle des composés laqueux violets et pourprés. Les protoxydes d'étain et de plomb forment des composés insolubles ; l'hydrate d'alumine forme une laque de couleur intermédiaire à celle que fournissent les alcalis et les acides.

Sous l'influence de la chaleur, la brésiléine se décompose ; il distille une eau légèrement acide, un produit alcalin, et dans le résidu pourpré se retrouverait sans doute la brésiléine cristallisée.

La décoction dans l'eau ne s'altère pas ; loin de là, l'expérience journalière des ateliers prouve que la dissolution ancienne est plus riche que celle qui n'est préparée que depuis quelques jours.

Sous la double influence des alcalis hydratés et de l'air, la brésiléine s'altère en absorbant de l'oxygène.

D'après M. Preïsser, de Rouen, il existerait dans le bois des cæsalpinia, quelles que soient leurs variétés, une matière incolore qui, sous l'influence de l'oxygène de l'air, se transformerait en brésiléine. Ce principe incolore, qu'on pourrait nommer *brésiline*, aurait une saveur sucrée avec un arrière-goût légèrement amer ; il serait soluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther. L'ébullition de la liqueur aqueuse suffirait pour déterminer la transformation de ce principe en brésiléine ; l'acide sulfurique le colore en jaune d'abord, puis en une substance noire résinoïde ; l'acide chlorhydrique et l'acide azotique le colorent en rouge vif. Avec ce dernier acide, sous l'influence de la chaleur, il se dégage des vapeurs rutilantes qui sont accompagnées de la formation d'une quantité notable d'acide oxalique.

Lorsqu'on met en contact la brésiline avec de l'acide chromique ou du bichromate de potasse en poudre fine, il se fait une vive effervescence, il se forme des quantités notables d'acide formique qu'on sépare par distillation, la liqueur se colore de plus en plus, puis il se forme une laque cramoisie contenant de la brésiline et de l'oxyde de chrome. Sous l'influence de l'acide chlorhydrique, le principe colorant disparaît, il ne reste plus que de l'oxyde vert de chrome.

9. Bois de santal (*santaline*).

On désigne sous le nom de santal rouge le bois qui provient du *ptærocarpus santalinus*. Il donne en teinture des nuances qui varient du fauve au rouge ; il ne se colore presque pas par l'eau bouillante. Le principe colorant de ce bois a reçu le nom de *santaléine*.

Santaléine. — La santaléine est une substance d'apparence résineuse rouge brun, fusible à 100 degrés. Peu soluble dans l'eau, elle se dissout dans l'alcool, qui devient jaune ou rouge, suivant les proportions dissoutes ; l'éther la dissout aussi.

Les dissolutions aqueuses de potasse, de soude, d'ammoniaque dissolvent la santaline et la colorent en rouge violet. Une addition d'un acide faible en précipite la santaline sans altération. La dissolution alcoolique précipite en pourpre par le chlorure d'étain, en violet par les sels de plomb, en écarlate par le bichlorure de mercure, en violet foncé par le sulfate de fer, en rouge brun par le nitrate d'argent ; les sels d'alumine ne la précipitent que par leur eau de dissolution.

M. Preïsser a décomposé la santaline en divers principes, au nombre desquels il indique un composé cristallisable incolore qu'il regarde comme le principe actif de la santaline. Ce principe non azoté peut être isolé par le traitement au moyen de l'hydrogène sulfuré d'une laque plombique obtenue par la solution de santaline. La matière colorable est dissoute dans l'éther et séparée par l'évaporation. Cette matière se colore à l'air avec le contact des alcalis ; elle prend une nuance très-vive rouge pur.

10. Bois d'amarante (*amarantine*).

On comprend sous le nom de bois d'amarante, bois violet, etc., différentes sortes de bois d'ébénisterie originaires de l'Amérique méridionale et des Antilles ; on est encore dans la plus grande incertitude quant à l'espèce botanique et même à la famille à laquelle ils appartiennent. M. Arnaudon a fait l'examen d'un grand nombre de ces bois dans le but de trouver quelques caractères distinctifs qui pussent en former un groupe purement chimique, que l'on désignerait sous le nom de bois d'amarante, et qui viendrait se ranger dans la série des bois de teinture. De ses minutieuses recherches il résulte que les différents bois de ce groupe, notamment le *pao colorado*, le *bois violet de Cayenne*, le *peuple heat*, le *tanané*, le *palo morado*, etc., contiennent tous une même matière incolore susceptible de se transformer sous l'influence de la lumière en une autre matière de couleur rouge pourpre.

La chaleur, avec ou sans le concours des acides qui ne font qu'accélérer le changement, conduit aux mêmes résultats ; mais il paraît démontré que la matière colorable, susceptible de devenir colorée, passe à cet état et devient rouge pourpre par une cause autre que l'oxydation.

Il semble résulter des recherches de M. Arnaudon cette conclusion, qu'il faudra peut-être généraliser, que cette cause doit être plutôt recherchée dans une modification moléculaire des éléments préexistants dans le bois que dans une absorption d'oxygène pris à l'extérieur, et que la matière colorable est en plus forte proportion dans les bois de ce groupe qui sont les moins colorés à l'intérieur.

Ce mémoire de M. Arnaudon est d'un grand intérêt pour les chimistes qui se livrent à l'étude des matières tinctoriales. Il peut offrir à l'art de la teinture des nuances nouvelles qui sont susceptibles de satisfaire aux caprices de la mode en introduisant dans les ateliers une matière tinctoriale inconnue. C'est en considération de ce vœu que nous avons placé le travail de

M. Arnaudon dans cet article, bien que les résultats qu'il annonce n'aient pas encore été sanctionnés par la pratique.

11. Rouge de sorgho (*sorghine*).

Lorsqu'on laisse fermenter les tiges du sorgho (*sorghum saccharatum*), après qu'on en a retiré le jus sucré, de telle sorte que la température ne s'élève pas trop, on obtient au bout de quinze jours, s'il ne s'est pas développé de fermentation putride, une masse d'une couleur rouge ou rouge brun. On la dessèche, puis on la fait moudre.

Pour isoler la matière colorante on fait infuser la poudre pendant douze heures dans l'eau froide; le résidu, traité par une lessive de soude très-faible, perd la matière colorante qu'on précipite sous forme de flocons rouges, en neutralisant au moyen de l'acide sulfurique; on la recueille sur un filtre qu'on lave et qu'on fait ensuite dessécher; la couleur rouge, ainsi preparée, se dissout facilement dans l'alcool, dans les liqueurs alcalines, dans les acides faibles, etc.

Pour teindre, avec elle, la laine et la soie, on fait usage des mordants d'etain ordinairement employés; M. Winter a trouvé que les teintures rouges au sorgho résistaient très-bien à la lumière et aux savonnages modérés, même à chaud.

D'après les renseignements les plus récents, l'extraction et l'utilisation de la matière colorante du sorgho seraient connues et pratiquées industriellement en Chine, où la culture de cette plante se fait sur une très-grande échelle.

La culture du sorgho, qui tend à se répandre en France, peut donc un jour ajouter aux substances tinctoriales et rémunérer encore le cultivateur en partie déjà couvert de ses dépenses par sa récolte en alcool ou en sucre.

12. Peganum harmala (*harmaline*).

M. Gobel a décrit sous le nom d'*harmaline* une substance qu'on rencontre dans les semences du *peganum harmala*, et qui se transforme, sous certaines influences déterminées, en une matière colorante rouge. C'est à tort que MM. Monnet et Dury donnent cette désignation au produit dérivé de l'aniline trouvé par M. Perkin.

MM. Schlumberger et Dollfus ont publié dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse* une note intéressante sur la matière colorante extraite du *peganum harmala*. Comme pour l'orcéine des lichens, la matière colorante n'existe pas toute formée dans la semence qui contient une matière colorable; c'est cette dernière qui se transforme en ce nouveau principe que MM. Gobel et Fritch avaient découvert.

Lorsqu'on humecte avec 15 parties d'eau et 7 parties d'ammoniaque liquide 10 parties de graine de *peganum harmala*, il suffit de quatre à cinq jours d'exposition au contact de l'air pour obtenir la formation du principe colorant. On fait macérer dans l'alcool qui se charge d'abord d'une couleur jaune foncée verdâtre. On décante, et le résidu comprimé pour extraire toute la partie liquide est traité par une nouvelle quantité d'alcool qui fournit une liqueur d'un rouge foncé pur; quand on épuise complétement les graines par ce même traitement alcoolique, on trouve, après distillation de l'alcool, 16 p. 100 du poids de la graine en matière colorante sèche composée de deux substances, l'une rouge et l'autre jaune, qui se séparent au moyen de l'ammoniaque, qui dissout la seconde en précipitant la première. La matière colorante rouge a reçu le nom d'*harmaline*. Nous l'appellerons *harmaléine*.

Harmaléine. — Cette matière est soluble dans l'acide sulfurique à 1,6 sans subir d'altération; elle se dissout également à froid dans l'acide acétique; elle est peu soluble dans l'éther. Elle se comporte vis-à-vis des préparations métalliques en usage dans la teinture des garances tout autrement que l'alizarine, car elle ne précipite ni les sels d'alumine, ni ceux de fer, ni ceux d'étain; elle teint directement les tissus de coton, de laine et de soie sans le secours d'aucun intermédiaire; elle se rapproche sous ce rapport du principe colorant de l'orseille, avec laquelle elle présente une grande analogie sous le rapport de son origine et des circonstances qui président à sa formation. Il reste encore à trouver la matière curieuse qui, sous l'influence de l'air, de l'ammoniaque et de l'eau, donne naissance à l'harmaline; il reste encore à fixer la composition de la substance incolore et de ses dérivés. Dans les conditions de préparation que nous venons d'apprécier, elle n'offre, après son application sur les tissus, qu'une faible solidité. L'exposition au soleil la fait promptement passer au jaune, et le bain de savon bouillant la décolore complétement. Les récentes modifications apportées dans l'emploi de l'orseille qui devient une coloration d'une certaine résistance, feraient admettre la possibilité d'en augmenter la solidité; il peut être possible de rencontrer une méthode capable d'enlever à l'harmaline les inconvénients de sa fugacité.

13. Safranum (*acide carthamique*).

On pourra trouver à l'article CARTHAME de ce Dictionnaire ce qui regarde l'histoire de cette matière tinctoriale, la forme sous laquelle on la rencontre dans le commerce, sa provenance, ses diverses qualités, et les procédés dont on fait usage pour en extraire le principe colorant auquel on a donné le nom d'*acide carthamique*. Nous n'aurons plus ici qu'à décrire les propriétés de cette matière considérée dans son état de pureté.

Acide carthamique. L'acide carthamique se présente généralement sous forme de petites plaques minces qui, vues par réflexion, sont d'un jaune d'or avec des reflets verts; vues par transmission, elles sont rouges. Insoluble ou presque insoluble dans l'eau froide, il se dissout dans l'alcool; à froid, la dissolution est d'un beau rose; à chaud, elle est orangée; il est moins soluble dans l'éther; l'oléine et les huiles volatiles ne le dissolvent pas. Les carbonates alcalins le dissolvent; les acides, et notamment l'acide citrique et l'acide acétique, le précipitent en flocons d'un beau rose. Les alcalis caustiques le dissolvent en l'altérant sous l'influence de l'air. Quoique l'acide carthamique soit insoluble dans l'eau froide, il y demeure si longtemps en suspension quand il est pur, qu'on aurait beaucoup de peine à l'en séparer. On le réunit au moyen d'une chausse par filtration.

M. Preisser a vu que l'acide carthamique peut perdre, sous l'influence de l'acide sulfhydrique, une partie de l'oxygène qu'il contient en se convertissant en un corps incolore auquel il a donné le nom d'*acide carthameux*. Cet acide se présente sous forme de petites aiguilles prismatiques d'une saveur légèrement amère, peu soluble dans l'alcool, moins soluble dans l'eau. Il se colore à l'air en jaune clair. L'acide sulfurique le dissout sans le colorer. L'acide chlorhydrique et l'acide nitrique le dissolvent également sans coloration à l'aide d'une légère chaleur. Pour sa transformation en acide carthamique, il faut le double concours de l'air et des alcalis. En effet, il résiste bien à l'oxygène pur sous une cloche à mercure; mais il devient jaune d'abord, puis rose ensuite, lorsqu'on fait arriver sous la cloche une petite quantité de potasse. L'addition d'un acide fait apparaître alors des flocons d'acide carthamique. L'ammoniaque se conduit comme la potasse, mais avec plus de lenteur.

L'acétate de plomb précipite l'acide carthameux à l'état de laque blanche, qui devient rose avec le contact de l'air. Projeté sur des charbons ardents, l'acide carthameux se fond, se boursoufle, se décompose en exhalant une odeur piquante, mais sans laisser de résidu.

Le rose de carthame, très-brillant sur soie, n'a malheureusement pas une solidité très-grande. Il passe à la seule exposition à l'air. Il paraîtrait néanmoins qu'on peut le fixer au soleil. M. Rondot a vu pratiquer cette opération en Chine, et quelques documents, extraits par M. Stanislas Julien de l'*Encyclopédie japonaise*, rendent vraisemblable cette pratique, contraire à ce que nous savons des propriétés de l'acide carthamique et de sa fugacité. Nous verrons plus loin comment on a pu rendre plus solide la couleur de l'orseille.

14. CARMIN DE POURPRE (*acide urique, murexide.*)

Le guano, dont l'usage comme engrais est des plus importants, est devenu la source d'une intéressante matière tinctoriale depuis qu'on a su transformer en murexide l'acide urique que cette substance contient. En présence de l'application intéressante qui vient d'être faite à la teinture des dérivés de l'acide urique, la Société de Mulhouse a proposé comme sujet de prix la préparation artificielle et directe de l'acide urique, autrement qu'en en faisant l'extraction des matières animales.

La murexide découverte par MM. Liebig et Woehler, dans leur travail classique sur l'acide urique, est devenue dans ces derniers temps d'une importance assez grande par son introduction comme matière colorante dans l'art de la teinture et la fabrication des indiennes. Il en est résulté que la préparation de ce corps, ainsi que celle de l'acide urique dont la murexide provient, a pris le rang d'une opération industrielle, se pratiquant déjà maintenant sur une échelle assez large. Nous allons passer en revue la préparation de l'acide urique et les circonstances dans lesquelles a lieu sa transformation en murexide.

Acide urique. — Les matières premières dont on extrait l'acide urique sont les excréments de serpents, d'oiseaux et surtout le guano, riche en urate d'ammoniaque. Les excréments de serpents renferment de l'acide urique presque pur, libre ou combiné à de l'ammoniaque; mais ils sont trop rares pour servir autrement qu'à des expériences de laboratoire. C'est du guano qu'on retire presque tout l'acide urique utilisé maintenant en industrie. Voici du reste la méthode proposée par M. Stadeler pour découvrir l'acide urique dans les matières qui le contiennent. On précipite la liqueur au moyen de l'acétate basique de plomb. On forme un urate insoluble qu'on décompose par l'hydrogène sulfuré; l'acide urique, séparé du sulfure de plomb par filtration, cristallise en tables hexagonales.

D'après M. Broomann, on épuise à chaud le guano par de l'acide chlorhydrique étendu. On laisse déposer les matières insolubles et on soutire le liquide clair et encore tiède, avec lequel on traite de la même manière de nouvelles quantités de guano, jusqu'à ce que l'acide soit à peu près saturé. La dissolution contient le carbonate et l'acétate d'ammoniaque, les phosphates de chaux et de magnésie, le phosphate ammoniaco-magnésien, le carbonate de chaux, une certaine quantité d'oxalate de chaux, etc. On peut utiliser cette liqueur soit comme engrais, soit pour la préparation des sels ammoniacaux, des phosphates et des oxalates.

Le résidu qui n'est pas dissous dans l'acide hydrochlorique est de nouveau traité à chaud par de nouvelles quantités de cet acide, puis lavé, égoutté et séché.

Il renferme surtout de l'acide urique, mélangé de sable, d'argile, de sulfate de chaux et de matières organiques (albumine, mucus, etc.) d'une couleur jaunâtre. Il peut servir directement à la préparation de la murexide.

Si l'on veut purifier davantage l'acide urique, on peut faire usage soit d'acide sulfurique, soit d'alcalis, ou de sels alcalins étendus. L'acide sulfurique concentré dissout facilement l'acide urique, surtout en chauffant de 60 à 80 degrés. Par le refroidissement on obtient quelquefois de gros cristaux d'une combinaison d'acide urique avec 6 équivalents d'acide sulfurique. Lorsqu'on étend d'eau cette solution sulfurique, l'acide urique se précipite de nouveau à peu près pur, et on n'a plus qu'à le filtrer, le laver et le sécher.

En faisant bouillir l'acide urique impur avec une solution étendue de potasse ou de soude caustique (1 de soude pour 12 à 15 d'eau), on obtient de l'urate alcalin soluble; la solution filtrée, sursaturée par un acide, laisse de nouveau déposer l'acide urique.

Au lieu de sursaturer directement par un acide cette dissolution, on peut la concentrer jusqu'à ce qu'elle se prenne en bouillie visqueuse qu'on jette encore chaude sur une toile et qu'on exprime. La masse est ensuite seulement délayée dans de l'eau bouillante et décomposée par l'acide chlorhydrique. Le résidu filtré et lavé représente de l'acide urique presque pur. Les eaux mères alcalines provenant de l'expression fournissent, par l'addition d'un acide puissant, de l'acide urique impur, qu'on purifie par une nouvelle dissolution dans une solution alcaline faible. 100 kilog. de bon guano peuvent fournir de 2 1/2 à 8 kilog. d'acide urique. Le traitement par l'acide sulfurique concentré, ou par les liqueurs alcalines, peut aussi être appliqué directement au guano, mais avec moins d'avantage.

MM. Boettger et Landerer ont conseillé pour épuiser le guano de remplacer les alcalis caustiques par le borax qui dissout moins de matières animales.

Murexide. — Nous commencerons par exposer en quelques mots les préparations sur lesquelles repose la formation de ce corps remarquable à plus d'un titre; nous trouvons la théorie parfaitement présentée dans le travail de Gerhardt auquel nous renverrons pour de plus amples détails (*Traité de chimie*, t. I, p. 519). Les idées de cet éminent chimiste ont été pleinement confirmées par les travaux plus récents auxquels la murexide a donné lieu.

Les procédés à l'aide desquels on prépare la murexide sont assez nombreux, même dans l'industrie; M. Kopp fait connaître les suivants :

1° D'après M. Broomann, on mélange dans des vases en terre de petites quantités d'acide nitrique à 1,41, pesanteur spécifique avec de l'acide urique brut et desséché. Pour plus d'économie, on peut prendre le guano purifié directement par l'acide chlorhydrique. Les deux corps réagissent l'un sur l'autre; l'acide urique se dissout en s'oxydant aux dépens de l'acide azotique; il se dégage du gaz dans lequel on peut reconnaître la présence du bioxyde d'azote. On ne réussit qu'autant que la température du mélange ne s'élève pas trop. A cet effet on n'opère que sur de petites portions à la fois, et l'on place les vases de terre dans lesquels s'effectue la réaction dans une capsule remplie d'eau froide pour tempérer la chaleur qui se dégage pendant la dissolution. On ajoute donc alternativement de l'acide azotique et de l'acide urique par petites parties à la fois, et l'on attend chaque fois que l'action soit épuisée pour faire une nouvelle addition. Quand on a traité toute la masse que l'on veut transformer, on abandonne le mélange à lui-même : au bout de quelques jours, il est pris en une masse pâteuse assez épaisse. C'est de cette masse qu'il faut extraire la murexide.

On épuise par de l'eau chaude; il est nécessaire de ne pas arriver à la température de 100 degrés centigrades. Le lavage se fait avec très-peu d'eau pour obtenir des liqueurs aussi concentrées que possible. Elles sont jaunes ou rougeâtres; elles peuvent être décolorées par le noir animal purifié; mais cette dernière opération n'est guère nécessaire. La solution renferme des dérivés de l'acide urique au nombre desquels on cite surtout de l'alloxane, de l'alloxantine, du nitrate d'urée, des sels ammoniacaux et quelques autres

substances peuvent prendre naissance dans l'acte d'oxydation de l'acide urique.

On évapore dans des vases en fonte émaillée très-larges, en ayant bien soin de ne pas dépasser une température de 80° c. et de ne point opérer sur de trop fortes proportions de matière. A cet effet, on verse un peu de solution dans le vase chauffé vers 75° ou 80° c., et l'on attend, en remuant constamment, qu'elle ait acquis, par concentration, une consistance pâteuse; on ajoute alors une nouvelle quantité de solution qu'on concentre en remuant, et ainsi de suite en versant peu de liquide à la fois. Après la concentration de toutes les liqueurs, on laisse refroidir et l'on obtient de la sorte une substance pâteuse ou même solide, d'une couleur brune, rougeâtre ou violette, présentant quelquefois un reflet verdâtre. C'est là le *carmin de pourpre* de M. Broomann.

Dans cette dernière opération, l'ammoniaque provenant de la dissolution de l'urée libre et du nitrate d'urée réagit à l'état naissant sur l'alloxantine et l'alloxane pour former de la murexide.

La présence des matières organiques étrangères peut même être utile, en ramenant une certaine quantité d'alloxane à l'état d'alloxantine. C'est dans ce but qu'on ne décolore pas toujours.

2° Lorsqu'on ajoute de l'ammoniaque à une solution chaude d'alloxantine, elle devient pourpre, par suite de la formation de la murexide; mais cette coloration disparaît très-facilement soit par le refroidissement, soit par l'ébullition de la liqueur.

L'eau, l'excès d'ammoniaque et l'oxygène de l'air exercent dans cette circonstance une action décomposante sur la murexide. Pour l'éviter, M. Clark conseille d'opérer comme l'avait déjà fait M. Gmelin, c'est-à-dire de faire passer du gaz ammoniac sur de l'alloxantine sèche réduite en poudre, ou mieux encore, de traiter l'alloxantine sèche ou humide par une solution alcoolique d'ammoniaque ou de carbonate d'ammoniaque, ou par du gaz ammoniac saturé de vapeurs alcooliques. La murexide, étant insoluble dans l'alcool, est protégée par ce dernier contre une action trop prolongée de l'ammoniaque en excès; on prépare l'alloxantine soit en réduisant l'alloxane par l'hydrogène sulfuré, soit en portant à l'ébullition un mélange d'une partie d'acide urique avec 32 d'eau, et ajoutant peu à peu de l'acide nitrique faible jusqu'à dissolution complète de l'acide urique; la solution, évaporée aux 2/3, est abandonnée à elle-même pendant plusieurs jours dans un local frais; elle dépose des cristaux d'alloxantine, qu'on peut purifier par cristallisation.

3° Plus récemment M. Clark a modifié cette méthode en la rendant plus pratique.

Il sature de l'acide nitrique de 1, 4 P. sp. étendu d'environ son volume d'eau, à une température très-peu supérieure à 60 degrés centigrades, par de l'acide urique; il résulte de ce traitement une dissolution chargée des produits de l'oxydation de l'acide urique. On traite par l'ammoniaque, en réalisant les conditions suivantes :

On mélange le liquide à froid et petit à petit avec une quantité d'ammoniaque qui n'est que la moitié de celle qu'il faudrait pour rendre alcaline la solution d'alloxane.

L'ammoniaque n'est ajoutée que par petites portions à la fois, d'un côté, pour qu'il n'y ait point élévation de température, et de l'autre pour que le liquide ait le temps de reprendre sa réaction acide. En effet, une pareille solution, rendue faiblement alcaline à froid ou neutralisée, reprend bientôt après sa réaction acide. Cet effet n'a plus lieu lorsque la neutralisation a été faite à chaud.

Le mélange ainsi préparé, chauffé à 60°, donne par le refroidissement des cristaux de murexide.

Voici les proportions indiquées pour préparer la murexide très-pure et en grande quantité. A 100 litres du liquide provenant du premier traitement de l'acide urique par l'acide azotique et marquant 30° Baumé, M. Clark ajoute peu à peu 23 à 30 litres d'ammoniaque liquide à 18° Baumé, en ne versant à la fois que les 4/5 d'un litre. Après avoir opéré le mélange complet, on chauffe le tout à 75° c. Par le refroidissement la murexide cristallise; on la recueille sur une toile.

Les eaux mères sont traitées exactement de la même manière pour ce qui concerne la température, mais la force de l'ammoniaque ne doit plus être que de 4 1/2° B.

Les eaux mères de cette nouvelle opération peuvent être réunies aux opérations subséquentes ou traitées une troisième fois avec de l'ammoniaque qui ne marque plus qu'un peu moins de 2° à l'aréomètre de Baumé.

A l'état de pureté, la murexide cristallise en prismes à 4 pans raccourcis, d'un vert doré magnifique; placés entre l'œil et la lumière, ils paraissent d'un rouge grenat; ils produisent une poudre rouge qui prend sous le polissoir une couleur verte d'un éclat métallique. Peu soluble dans l'eau froide, elle se dissout en plus grande quantité dans l'eau chaude; elle est insoluble dans l'alcool et l'éther; elle se dissout dans la potasse caustique en prenant une magnifique couleur bleue; desséchée à l'aide de la chaleur, elle perd, suivant MM. Liebig et Woehler, 3 à 4 p. 100 d'eau d'hydratation.

Sa solution dans l'eau à 35° donne, avec le nitrate d'argent, un précipité rouge qui devient vert par la dessiccation et qui prend sous le polissoir un reflet métallique; l'acétate de plomb fournit de même un précipité.

Une dissolution bouillante de murexide traitée par l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique dépose des paillettes nacrées, que Proust qui, le premier, les a préparées, nommait *acide purpurique*. Cette réaction fait entrevoir la constitution réelle de la murexide, qu'on peut regarder comme un *purpurate d'ammoniaque*. En effet, la liqueur débarrassée de l'acide purpurique contient du sulfate ou du chlorhydrate d'ammoniaque. En partant de ces données il est facile de formuler, tout en tenant compte de la composition centésimale à laquelle l'analyse a conduit, les transformations successives que subit l'acide urique et la production de la murexide; MM. Proust, Fritsche et Gmelin étaient arrivés à la même conclusion. En effet, l'acide purpurique est un acide éphémère qui, dès qu'il se trouve en liberté, se métamorphose en alloxane, en dialuramide et en ammoniaque; on avait autrefois regardé comme des corps différents la murexone et l'uramile; Gerhardt a fait voir que ces deux corps n'en font qu'un qu'il nomme dialuramide. Or, l'acide urique oxydé plus ou moins énergiquement peut produire de l'alloxane et de l'urée, ou de l'alloxantine plus de l'urée; l'alloxane soumise à l'ébullition prolongée ou bien encore à l'influence des corps réducteurs se convertit en alloxantine, et cette dernière, sous l'influence de l'ammoniaque, forme du purpurate d'ammoniaque avec élimination d'eau.

Ces réactions expliquent la succession des phénomènes qu'on observe dans la transformation de l'acide urique en purpurate d'ammoniaque. La dialuramide sous l'influence des corps oxydants peut reproduire la murexide.

Le carmin de pourpre préparé pour les besoins des arts ne peut se fixer sur les fibres textiles ou les tissus (soie, laine et coton) que par l'intermédiaire des sels métalliques capables de former avec l'acide purpurique des précipités colorés insolubles. Les meilleurs résultats ont été fournis par l'emploi des sels de mercure et de zinc. Les premiers donnent une coloration rouge et

pourpre ; les seconds conduisent à des nuances oranges et jaunes. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet qui présente un grand intérêt de nouveauté. Mais avant d'abandonner l'étude de la murexide, nous devons ajouter qu'il serait intéressant de voir abaissé considérablement le prix de l'acide urique ; le résultat ne semble devoir être atteint qu'autant qu'on le préparerait artificiellement et directement, au lieu de l'extraire avec plus ou moins d'économie des matières animales. Il y aurait, dans des recherches dirigées dans le sens que nous ne faisons qu'indiquer, espérance d'un profit considérable.

La murexide constituait probablement le célèbre pourpre des anciens. D'après M. Lacaze-Duthiers, les *murex*, dont on a tiré le nom de murexide, contiennent une substance colorante renfermée dans un organe particulier qu'on retrouve dans d'autres mollusques, principalement dans les *helix* ; elle ne se colore en pourpre que par l'exposition à l'air au contact des rayons solaires.

45. Créosote (*acide rosolique*).

Il y a quinze ans, j'avais constaté dans des chaux ayant servi longtemps à la purification du gaz de houille la présence d'une matière particulière capable de produire une magnifique couleur rouge-cerise ; cette matière, ou du moins une substance équivalente, a été retrouvée et proposée comme matière applicable à l'art de la teinture ; il y a tout lieu de penser que ce principe n'est autre que l'acide *rosolique* de Runge.

Acide rosolique. — D'après M. Smith, lorsqu'on traite la créosote par un mélange de soude caustique et d'oxyde de manganèse à la chaleur de sa volatilisation, il se forme du rosolate de soude soluble dans l'eau, qu'on décompose par un acide ; ce corps est d'une magnifique couleur rose ; malheureusement jusqu'à présent il n'est pas inaltérable à l'air, et l'acide carbonique suffit pour l'altérer. Cette circonstance a rendu jusqu'à présent son application de la plus grande difficulté. Ce point a fixé l'attention de plusieurs chimistes, et M. Dussart a publié sur ce sujet les observations suivantes :

Quand on répète les expériences de Runge, on obtient en effet un corps rouge dont l'intensité de couleur s'accroît par la combinaison avec les alcalis, et qui forme une laque rouge avec l'alumine ; mais la quantité de ce produit est toujours faible. Les réactions de l'acide rosolique font supposer qu'il est identique avec les produits de l'oxydation de l'acide phénique en présence des alcalis ; son existence se rattacherait donc aux composés si remarquables préparés par Laurent. L'acide de M. Dussart est un corps rouge très-friable, fusible avec décomposition. Lorsque, après sa précipitation, on le sèche à 80° degrés, il se transforme isomériquement et se présente avec une couleur vert-cantharide très-brillante ; la pulvérisation le ramène à son premier état ; acide faible, il est peu soluble dans l'eau, très-soluble dans l'alcool et l'éther, soluble dans les carbonates alcalins sans déplacement d'acide carbonique, soluble dans les alcalis caustiques avec une magnifique couleur rouge-cerise précipitable par les acides les plus faibles et ne formant pas de laque avec l'alumine. L'acide extrait de la créosote semble contenir des matières qui sont la cause de la formation de cette laque dans le cas où elle se forme. La chaux, la baryte, la strontiane donnent des sels moins solubles ; les sels métalliques précipitent des sels insolubles différemment colorés. Distillé sur de la chaux potassée, il régénère de l'acide phénique en même temps qu'une portion se détruit. L'acide sulfureux liquide ne le décolore pas. D'après les recherches de M. Dussart, l'acide extrait de la créosote n'aurait pas la même composition.

MM. Arnaudon et Persoz fils ont examiné ce produit au point de vue de la teinture, ils ont pu le fixer ; l'acide libre donne sur la laine et sur la soie préparées par l'alun une magnifique couleur jaune orangé ; lorsqu'on fait virer cette couleur dans un bain d'eau de baryte à 25 degrés centigrades, on obtient la couleur rouge-cerise caractéristique de ce principe qui semble laisser à désirer quant à la solidité.

Les recherches récentes de M. Hugo-Mueller semblent devoir confirmer les idées de M. Dussart sur l'origine de l'acide rosolique, qu'il rattache à l'acide phénique. Pour l'extraire en effet du goudron de gaz, on le traite par un sel de chaux qu'on épuise au moyen d'une dissolution bouillante de carbonate d'ammoniaque ; la dissolution filtrée présente une magnifique couleur carmin ; lorsqu'on évapore à siccité, il se dépose une résine qui n'est que de l'acide rosolique impur ; on la purifie en la traitant successivement par l'alcool, l'hydrate de chaux, l'eau et l'acide acétique. Plusieurs traitements successifs abandonnent l'acide rosolique à l'état de pureté. C'est une substance amorphe d'un vert foncé, possédant les reflets des cantharides ; sa poussière est rouge, mais elle prend un éclat doré lorsqu'on la frotte sur un corps dur et poli. Elle est translucide en lames minces ; elle présente alors une couleur rouge-orange.

L'acide rosolique précipité par l'eau de sa dissolution alcoolique se présente sous forme de flocons rougeâtres purs qui s'agglomèrent à 60° et se résolvent en un liquide lourd d'un vert foncé presque noir. Ce liquide est soluble dans l'alcool, l'éther, l'acide phénique, la créosote et les acides acétique, chlorhydrique et sulfurique. Quand on emploie l'eau bouillante comme dissolvant, il se précipite par refroidissement sous forme d'une poudre rouge-cinabre. Il est insoluble dans le chloroforme, la benzine et le sulfure de carbone.

L'acide rosolique est un acide très-faible ; il ne se combine qu'avec l'ammoniaque, et les alcalis purs forment des sels colorés en rouge ; mais ces combinaisons sont tellement instables, que l'acide carbonique de l'air suffit pour les décolorer ; la lumière solaire agit de même. Cette circonstance rendra probablement son emploi dans l'industrie excessivement difficile ; cependant il est possible qu'on puisse remédier au manque de solidité ; il paraît même que les manufacturiers anglais sont sur la voie, s'il est vrai qu'ils transforment, comme MM. Lowe et Calvert l'ont annoncé, les produits du goudron de houille en une matière colorante rose capable de rivaliser avec les roses de carthame et les cramoisis de garance. Cette couleur, d'un prix encore très-élevé, résiste, d'après les chimistes que nous venons de nommer, aux savons et à la lumière. Avec de semblables qualités, ce principe, provenant d'une matière première qui n'est certes pas rare, ne peut manquer de trouver sa place dans la grande industrie. A ces colorations se rattacheraient évidemment les composés de Laurent, sur lesquels nous avons insisté lorsque nous avons voulu faire pressentir l'importance de l'avenir des arts chimiques dans leur application à l'art de la teinture.

46. Rouge d'aniline (*fuchsine, azaléine, acide fuchsique*).

Alexandre Hervey, chimiste distingué de Glascow, a mis à profit dès 1857, la coloration que l'aniline produit avec le chlorure de chaux, et les manufactures d'Angleterre sont parvenues à fixer cette couleur sur les tissus de coton. A de nouveaux titres l'aniline a pris dans la teinture une place importante depuis qu'elle sert à produire la plus riche et la plus éclatante couleur rouge que l'industrie possède.

D'après M. Fritsche, lorsqu'on soumet à la distillation sèche l'acide anthranilique ou l'indigo dissous dans la

potasse, après l'avoir mêlé de deux fois son poids de sable ou de verre en poudre pour multiplier les surfaces, il se dégage de l'acide carbonique en même temps qu'il se condense dans le récipient un liquide particulier, base des magnifiques couleurs rouges et violettes dont la chimie vient de doter l'art de la teinture. Ce liquide constitue l'*aniline*, qu'on avait désignée successivement sous les noms de *cristalline*, de *benzidame*, d'*amide phénique*, de *cyanol*, jusqu'à l'époque à laquelle le nom d'aniline prévalut dans la science.

Aniline. — Nous venons d'indiquer deux circonstances dans lesquelles l'aniline prend naissance; elles sont très-variées, et nous croyons devoir en indiquer quelques autres, parce qu'elles pourront peut-être un jour fournir aux besoins de l'industrie.

1° La nitrobenzine en dissolution alcoolique, saturée d'abord par de l'ammoniaque, puis par de l'hydrogène sulfuré, donna un dépôt de soufre et des aiguilles jaunes cristallines à 0°, qui par le repos se transforment en aniline; on la dégage par l'ébullition. Chauffée sur de la chaux rouge, la benzine nitrique se transforme encore en ce même liquide.

2° Le phénate d'ammoniaque, scellé dans un tube de verre pour être abandonné quinze jours dans un four à des températures convenables, fournit de l'aniline.

3° Runge et Hoffmann en ont constaté la présence dans l'huile de goudron.

4° Par la distillation de la salicylamide sur de la chaux vive, il se dégage de l'aniline, si la température n'est pas trop élevée.

5° Les espèces chlorées et bromées du genre isatine, de même que l'isatine, mêlées à de la potasse et distillées avec ménagement, fournissent de l'aniline.

Jusqu'en 1854, l'aniline n'était considérée que comme une substance curieuse; on ne la connaissait guère que dans les laboratoires, l'industrie ne s'en préoccupait en aucune façon tant son prix était élevé; cette situation dut changer quand on entrevit pour l'industrie la possibilité d'en tirer parti. Grâce aux travaux de MM. Renard frères et Franc, grâce aux recherches suivies de M. Béchamp, ainsi qu'aux travaux pratiques de M. Tabourin, la fabrication de l'aniline est aujourd'hui courante industriellement, et cette matière peut être livrée sous le prix de 20 à 25 fr. le kilogramme.

Voici la méthode proposée par M. Béchamp : dans une cornue spacieuse on introduit une partie de nitrobenzine, 1,2 de limaille de fer bien décapée, une partie d'acide acétique concentré du commerce (vinaigre de Mollerat) exempt d'acide minéral. La quantité d'acide acétique doit être telle que le fer y soit complétement immergé; bientôt, sans chauffer, la réaction s'établit d'elle-même; elle devient excessivement vive, la température s'élève, et le liquide entre en ébullition; on refroidit le récipient, il se forme de l'aniline, de l'acétate d'aniline, et un peu de nitrobenzine qu'on recueille dans un récipient ajusté sur la cornue. Lorsque la cornue est refroidie, on ajoute ce qui s'est déjà volatilisé, puis on distille aux trois quarts. On verse dans la cornue un lait de chaux presque pâteux, puis on distille tant qu'il passe de l'aniline. Au produit distillé on ajoute un excès d'une dissolution concentrée de potasse, ou de carbonate de soude, ou d'hydrate de chaux; l'aniline hydratée se sépare et vient à la surface. En ajoutant la nitrobenzine par petites portions à la fois, on modère l'opération, qui est tellement régulière que MM. Renard frères et Franc, à Lyon, fabriquent actuellement jusqu'à 400 kilog. d'aniline par jour.

La nitrobenzine se prépare avec la benzine retirée du goudron. Les huiles légères de houille à 27 degrés donnent à la distillation, entre 70 et 80 degrés, de 25 à 30 p. 100 de benzine, qui fournit environ 90 p. 100 de nitrobenzine. Dans ces bonnes conditions, l'aniline rentre à 20 fr. le kilog.; on vend à Londres 25 fr. le kilog. d'aniline anglaise. L'industrie française produit donc l'aniline au prix que M. Béchamp avait fixé. M. Perkin, en Angleterre, régularisant l'action de l'acide chromique sur l'aniline, a préparé le violet d'aniline que MM. Franc et Tabourin fabriquent, sous le nom d'indisine, sur une vaste échelle. MM. Renard frères et Franc ont ouvert une voie nouvelle d'application de l'aniline, en étudiant avec M. Verguin la magnifique couleur rouge que l'aniline produit dans des circonstances variées; on en tirera bientôt du bleu.

A l'état de pureté, l'aniline est un corps incolore d'une densité de 1,028, doué d'une odeur aromatique forte et désagréable; peu soluble dans l'eau, elle se mélange en toutes proportions avec l'alcool et l'éther. Le contact de l'air la colore en brun rouge brunâtre et finit par la transformer en une résine jaunâtre. Elle bout à des températures qui ont été fixées entre 182 et 228°; elle coagule l'albumine.

La solution des hypochlorites alcalins se colore par l'aniline en bleu foncé violacé; le chlorure de chaux produit le même effet; la couleur est variable d'intensité, suivant la concentration du liquide. Cette couleur passe au rouge sale au contact des acides.

L'aniline décompose les sels de peroxyde et de protoxyde de fer; il se précipite des oxydes hydratés; elle précipite aussi les sels de zinc et d'alumine. Elle précipite encore les chlorures de mercure, de platine, de palladium et d'or. Les nitrates d'argent et de mercure résistent sans altération. L'aniline forme avec les acides des composés définis qui cristallisent dans l'alcool et dans l'eau; les alcalis minéraux régénèrent l'aniline inaltérée. Le chlore gazeux la noircit, avec dégagement d'acide chlorhydrique; au bout de quelques instants tout le liquide ne forme plus qu'une masse résinoïde noire, qui donne de l'acide phénique trichloré lorsqu'on la soumet à la distillation.

L'acide nitrique étendu dissout l'aniline sans l'altérer; il se forme du nitrate d'aniline qui rougit à l'air. Mais l'acide concentré fumant la transforme en un principe qui devient jaune, et finit par se transformer avec une réaction très-vive en acide picrique.

Rouge d'aniline. — Telles étaient les propriétés connues de l'aniline, lorsque M. Verguin, attaché comme chimiste au laboratoire de MM. Renard frères de Lyon, découvrit la transformation remarquable que ce corps subit lorsqu'on le met en contact à la température de l'ébullition avec le bichlorure d'étain. Cette réaction de l'aniline et du bichlorure d'étain est tellement tranchée que, quelles que soient les proportions du mélange, on obtient toujours la magnifique coloration rouge-groseille qui caractérise la fuchsine. Elle se forme tout aussi bien en présence d'un excès du bichlorure d'étain que lorsqu'il y a de l'aniline en excès. On forme dans une marmite en fonte émaillée (de Rogeat frères à Lyon) un mélange de 8 kilogrammes d'aniline anglaise et de 4k,5 de bichlorure d'étain (liqueur fumante de Libavius). Cette marmite est placée au-dessus d'un foyer mobile. On prépare le mélange à froid en ajoutant le bichlorure par petites portions et agitant légèrement sous une hotte dans laquelle on lance de la vapeur pour activer le tirage. On le laisse en repos une heure ou deux, puis on chauffe en agitant et maintenant à l'ébullition durant le temps nécessaire au développement de la nuance, c'est-à-dire environ 20 minutes. On la juge en regardant par transparence la tige de verre qui sert d'agitateur. La masse, d'un rouge vif intense et d'une consistance mielleuse, est abandonnée quelques instants au refroidissement et coulée dans des vases de grès pesés; on en retire environ 12 kilog.; on la livre au commerce sous le nom de *fuchsine*. Elle doit ce nom, non pas à ce fait qu'on al-

lemand Fuch veut dire Renard, nom de l'inventeur, circonstance fortuite, mais parce qu'elle rappelle la brillante couleur des fleurs qui composent la genre *fuchsia*.

Le bichlorure d'étain hydraté peut concourir à la formation du rouge d'aniline, comme la liqueur fumante de Libavius.

Le bichlorure d'étain n'est pas le seul agent qui, chauffé sur de l'aniline, la transforme en fuchsine.

Lorsqu'on porte à la température de l'ébullition un mélange de 2^{s}.3 de protonitrate de mercure et 4^{s}.2 d'aniline anglaise, on observe qu'après une heure de contact la masse prend une consistance à peu près sirupeuse et la couleur rouge violacé de la fuchsine; une quantité considérable de mercure réduit s'accumule au fond du vase, et on le sépare par décantation. La masse rouge, coulée dans des pots de grès, est mise dans le commerce par MM. Monnet et Dury sous le nom d'azaléine, d'après le brevet de M. Gerber-Keller.

Les propriétés physiques et chimiques de ces substances prouvent l'identité complète de la fuchsine et de l'azaléine.

C'est encore de la fuchsine qui prend naissance dans le contact à la température de 200° de l'aniline avec le protosulfate d'étain, le fluorure d'étain, le nitrate d'urane, le nitrate de peroxyde de fer, l'iodoforme et l'iode. Dans toutes ces circonstances, la production de la fuchsine se constate de la manière la plus nette tant par l'application qu'en en peut faire à la teinture des fibres textiles de nature animale (laine et soie), que par la mise en évidence des caractères essentiels qui la distinguent.

A la liste des corps que nous venons d'indiquer il faut en ajouter d'autres, le bichlorure de mercure, le perchlorure de fer, le protochlorure de fer, le protochlorure de cuivre, le bisulfate d'étain, le protosulfate de mercure, le deutosulfate de mercure, le deutonitrate de mercure, le nitrate d'argent, le bifluorure d'étain, le bifluorure de mercure, le bibromure de mercure, l'iodure d'étain, le chlorure d'urane, le chlorate de mercure, l'iodate de mercure, le sesquichlorure de carbone, tous ces corps agissant à la température d'environ 200°. Nous généralisons les circonstances dans lesquelles se forme la fuchsine en disant que *trois* éléments concourent toujours à la produire; l'un est physique, c'est la chaleur, et que, tandis que deux de ces agents l'*aniline* et la chaleur dont le degré correspond au point d'ébullition de l'aniline, environ 200°, sont invariables et constants, le troisième est essentiellement variable, comme on en peut juger d'après les nombreux brevets qu'on a voulu greffer sur le premier brevet de MM. Renard frères et Franc. Il n'y a rien d'étonnant qu'on ait pu remplacer l'un quelconque des agents que nous venons d'indiquer par l'acide nitrique (brevet Depouilly et Lauth), ou l'acide arsénique (brevet Girard et Delaire), ou l'oxyde puce de plomb (Girard et Delaire, *cristallinéine*). MM. Renard frères et Franc, dans leur brevet du 8 avril et les additions qui s'y rattachent, renoncent eux-mêmes à décrire toutes les substitutions possibles lorsqu'ils disent: « étant bien entendu que quelles que soient les manipulations effectuées, quels que soient les corps employés, nul ne peut fabriquer la matière rouge extraite par nous de l'aniline, sans porter atteinte à notre droit d'inventeurs, qui a pour base première, pour but exclusif et pour résultat définitif, non pas un procédé, ni une substance quelconque, mais bien la nouvelle matière rouge résultant de nos travaux. »

Le tribunal de la Seine a confirmé ces prétentions par un jugement en date du 31 août 1860, conformément aux conclusions d'un rapport d'expert Persoz, de Luynes et Salvétat, dont nous extrayons la majeure partie des renseignements que nous avons reproduits ici.

Si la fuchsine est un produit constant de la réaction individuelle de différents agents sur l'aniline à la température en quelque sorte déterminée par le point d'ébullition du mélange fixe, nous devons faire remarquer que suivant les circonstances et la nature de l'agent employé cette fuchsine peut être obtenue sensiblement pure, ou bien se trouver accompagnée d'un excès d'aniline, d'une matière violette qui semble n'en être qu'une modification, d'une petite quantité d'*indisine*, avec la matière goudronneuse qu'accompagne toujours cette dernière lorsqu'elle vient à prendre naissance.

Pour comprendre qu'il puisse en être ainsi, nous répéterons les résultats de quelques expériences que nous avons dirigées dans le but d'établir, s'il était possible, la cause de la transformation de l'aniline en fuchsine.

Les chimistes qui jusqu'à ce jour ont abordé cette délicate question répondent que la fuchsine résulte d'un phénomène d'oxydation qui se produit soit directement lorsque l'agent variable peut fournir l'oxygène nécessaire, soit indirectement lorsqu'on fait intervenir un composé bromé, chloré, fluoré qui décompose l'eau pour mettre de l'oxygène en liberté. Au premier abord, cette opinion paraît assez fondée, mais elle ne rend pas compte de la formation de la fuchsine, lorsqu'on remplace le nitrate de protoxyde de mercure par le sesquichlorure de carbone, par l'acide arsénique, par le sulfate de protoxyde d'étain, etc.

Les choses ne nous paraissent pas être si simples qu'on le prétend. Et, d'abord, si dans la préparation de la fuchsine au moyen du nitrate de mercure, tout le mercure se trouve revivifié, la fuchsine ainsi préparée n'est jamais pure, elle est toujours accompagnée d'une forte proportion de résine et d'une faible quantité d'indisine qui donne un ton plus ou moins bleu. L'action est des plus complexes. D'autre part, quand on a recours à l'acide arsénique, la fuchsine se produit sans réduction de l'acide arsénique, c'est-à-dire sans formation d'acide arsénieux, comme le fait voir l'expérience suivante :

On prend 12 gr. d'acide arsénique pur qu'on a fait dissoudre dans 12 gr. d'eau, et on mêle le tout avec 10 gr. d'aniline pure. Ce mélange introduit dans un appareil distillatoire est porté progressivement, dans l'espace de six à sept heures, de la température ordinaire à celle de 100, 120, 160 et 180°. Une portion de l'aniline, 2 gr. environ, échappe à la réaction et vient se condenser dans le récipient. Quant au résidu, il se dissout presqu'en entier dans l'eau, et l'arsenic se retrouve en totalité dans la liqueur à l'état d'*acide arsénique*. C'est à peine si l'on peut constater les traces d'*acide arsenieux*.

On n'est donc pas fondé, d'après cette expérience, à dire que la fuchsine est le résultat d'une oxydation subie par l'aniline.

Au reste, ce n'est pas le seul fait qui justifie cette proposition; le nitrate d'aniline employé comme agent variable de la réaction transforme l'aniline en fuchsine, sans qu'il se dégage la moindre trace de l'un de ces composés nitreux qui apparaissent toujours et nécessairement toutes les fois que l'acide nitrique ou les nitrates interviennent dans une réaction comme agent oxydant.

Selon toute probabilité, le développement de cette matière colorante, si tant est qu'elle dérive uniquement de la molécule aniline, résulterait d'une modification physique; en un mot, ce serait un changement d'état moléculaire provoqué par l'agent chimique variable que l'on met en présence de l'aniline. On s'explique ainsi comment, en faisant varier les conditions de température et la nature de l'agent, on parvient à faire naître un produit rouge plus ou moins violacé.

Nous avons actuellement plusieurs faits qui autorisent une pareille hypothèse; c'est d'abord ce dérivé

de l'indigo signalé dans la brochure sur le vert de Chine (Paris, 1858), qui, seul, et par l'unique fait d'une variation de température imprimée à sa dissolution, permet de réaliser *toutes les couleurs simples binaires ou ternaires*, le ponceau excepté. D'autre part, M. Jules Persoz vient de démontrer (*Répertoire de chimie*, 1860) que la lumière secondée de l'action de la chaleur provoque un ébranlement moléculaire dans les éléments constitutifs de l'acide nitrocuminique, dont l'effet est la production d'une belle couleur cramoisie.

Quels que soient les procédés appliqués à la préparation de la fuchsine, nous avons démontré, et par les propriétés des teintures obtenues et par les caractères physiques, qu'il se formait toujours une même substance, et nous avons conclu que l'azaléine, la fuchsine, la cristallinéine étaient identiques au double point de vue de leurs applications et de leur nature chimique.

Nous ferons remarquer que ces trois matières se comportent également bien à la teinture; toutefois, lorsqu'on prépare la fuchsine au moyen du bichlorure d'étain et des dosages que nous avons indiqués, le rouge d'aniline traité par l'eau bouillante peut être immédiatement employé, tandis que lorsqu'on fait usage du sel de mercure, la couleur est accompagnée de résine, qu'il faut éliminer par une ébullition préalable, prolongée plusieurs heures, pour éviter les taches dont les tissus peuvent être maculés. Si l'on veut imprimer, la fuchsine préparée par le bichlorure d'étain doit être délayée dans l'acide acétique, puis épaissie à la gomme. On se sert d'acide acétique pour atténuer les effets du composé d'étain qui détruit au fixage la vivacité de la nuance.

Nous terminerons cette étude par l'exposé des caractères chimiques de la fuchsine, en ne perdant pas de vue que ces caractères appartiennent aux trois substances qu'il convient de confondre et qu'on avait désignées pour des motifs qu'il est facile de saisir sous les noms d'azaléine et de cristallinéine.

Lorsqu'on veut isoler la matière colorante de tout principe étranger, on délaye le rouge d'aniline brut dans six ou sept fois son volume d'alcool et on filtre pour éloigner les parties insolubles. On verse de l'ammoniaque dans chacune des dissolutions alcooliques jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de précipité; on jette sur un nouveau filtre pour éliminer tout ce qui n'est pas soluble; il reste un liquide incolore ou légèrement ambré contenant la totalité de la matière colorante. La liqueur ammoniacale est saturée par de l'acide acétique; on y verse une dissolution saturée de bichromate de potasse, qui produit un précipité rouge qu'on recueille sur des filtres et qu'on lave. Le lavage doit être fait avec précaution, parce que tant que la liqueur et les eaux de lavage sont chargées de matières salines, le précipité ne se dissout pas sensiblement; mais aussitôt que l'eau sort exempte de sels, la liqueur devient d'abord rouge-orange, à cause des dernières traces de chromate de potasse, et enfin rouge-groseille pur. A partir de ce moment, en lavant à l'eau chaude, on obtient une dissolution de la matière colorante pure, quelle que soit l'origine du produit; l'évaporation la dépose sous forme d'une masse verte magnifique ayant les plus beaux reflets de la cantharide. On peut teindre en rouge vif sans avoir à constater les différences qui caractérisent quelques-uns de ces produits, l'azaléine, par exemple.

On peut substituer à l'ammoniaque, employée comme base capable de s'emparer de la matière colorante pour former avec elle une combinaison soluble, la baryte ou la chaux caustique en dissolution, à froid, mais surtout à chaud; dans ces circonstances, la fuchsine entre en dissolution comme l'aurait fait, à froid, l'acide carthamique, au contact des carbonates alcalins, sans perdre de ses propriétés tinctoriales, puisqu'il suffit, pour les remettre en évidence, de saturer par un acide les liqueurs alcalines, et de plonger dans le bain la soie ou la laine.

Les dissolutions provenant des traitements successifs indiqués ci-dessus, contenant la matière colorante pure, ont été soumises à l'action comparative de quelques réactifs, à l'effet de constater les différences qui pourraient exister entre elles.

Les alcalis caustiques, les carbonates alcalins en opèrent la décoloration soit à froid, soit à chaud, mais sans détruire la couleur, car celle-ci reparaît à volonté moyennant l'intervention d'une quantité convenable d'acide.

Le chlorure de platine trouble à peine ces dissolutions; mais, au bout d'un certain temps, il se forme dans toutes un précipité pourpre violacé.

Le chlorure d'or donne spontanément un précipité pourpre foncé dans toutes ces liqueurs.

Le sulfocyanure de potasse versé dans ces dissolutions n'y produit d'abord rien de sensible; mais, au bout d'un certain temps, on y voit apparaître un précipité couleur pourpre de Cassius.

Le protochlorure d'étain, à froid, décolore presque complétement toutes ces dissolutions; à chaud, elles affectent une couleur rosée lie de vin; et si, pareillement modifiées, on y verse quelques gouttes d'acétate de soude, il se forme à l'instant une laque rose.

A froid, les couleurs de toutes ces dissolutions se modifient déjà d'une manière notable en présence du perchlorure d'étain; à chaud, l'altération est bien plus prononcée, car on ne peut précipiter de la liqueur qu'une laque rosâtre et sale.

Mélangées avec les dissolutions de manganate et de permanganate de potasse, il ne se fait aucun précipité, et cependant, il y a altération de la matière colorante, puisque ces liqueurs ne teignent plus qu'en nuance lavée.

Les sels d'urane produisent, au bout d'un certain temps, un léger précipité dans toutes ces dissolutions.

L'hyposulfite de soude fait virer la nuance rouge-cerise à une nuance violacée.

Le chlore bleuit d'abord ces liqueurs et les décolore ensuite.

Le chlorure de chaux décolore partiellement toutes ces liqueurs à froid; si, au contraire, on le fait réagir à chaud, la destruction de la matière colorante est complète, et le chlorure stanneux ne peut plus faire reparaître la couleur.

Les sels saturés à base alcaline ne donnent lieu à un précipité dans ces dissolutions qu'autant que les liqueurs sont extrêmement concentrées, et qu'un précipité peut prendre naissance en vertu de cette action spéciale qui fait que le carmin d'indigo, que le savon, corps très-solubles dans l'eau, peuvent y devenir insolubles sous l'influence de certaines matières salines.

L'acide sulfureux décolore ces dissolutions; mais l'intervention d'un agent oxydant, employé avec précaution, permet de les faire renaître.

Cette étude chimique de la fuchsine se complète facilement par l'expérience répétée directement sur des tissus teints.

Exposés à l'action du chlore gazeux, tous les échantillons se comportent de la même manière : les couleurs bleuissent d'abord, puis disparaissent, en apparence du moins, car elles reparaissent, profondément modifiées, il est vrai, lorsqu'on plonge les échantillons ainsi modifiés par le chlore dans une solution d'acétate d'ammoniaque.

L'acide sulfurique concentré se comporte d'une manière remarquable en présence de ces couleurs fixées par la teinture; toutes les parties du tissu où l'on dépose cet acide passent immédiatement au jaune-citron; cette nuance étant une fois bien développée, si l'on

rince l'échantillon, les parties jaunes repassent au gris, et enfin à leur ton primitif, si l'on plonge les échantillons dans une solution d'acétate d'ammoniaque.

L'acide hypochloreux concentré appliqué sur ces échantillons teints modifie la couleur, qui passe au gris violacé; ici encore la destruction de la matière tinctoriale n'est point complète, puisqu'il suffit d'immerger les échantillons dans l'acétate d'ammoniaque, de rincer ensuite pour faire revivre la couleur, un peu dégradée à la vérité, ce qui n'a pas lieu avec l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique nitreux concentré, et étendu d'eau au moment même, altère la couleur de tous ces échantillons; dans aucun cas, on ne peut la faire reparaître; le tissu même est altéré.

Les échantillons immergés dans un bain d'acide sulfureux ne tardent pas à s'y décolorer; mais leur couleur n'est point détruite; on peut la faire reparaître dans toute, à l'intensité près, moyennant l'intervention d'un agent oxydant agissant progressivement.

Le sulfhydrate d'ammoniaque décolore immédiatement tous les tissus; une portion de la matière tinctoriale modifiée passe en dissolution à la faveur du rôle basique de ce sulfhydrate. Les parties de la matière colorante qui ont abandonné le tissu, comme celles qui y sont adhérentes, sont toujours régénérées au moyen de l'acide acétique.

L'ammoniaque se combinant avec la matière colorante pour former un composé incolore, les échantillons teints, étant plongés dans cette dissolution alcaline, s'y décolorent, avec cette particularité, que le changement de couleur est plus rapide dans l'échantillon teint avec la fuchsine produite au moyen du bichlorure d'étain. La présence de la résine dans les autres produits explique cette circonstance.

Les alcalis caustiques et carbonatés se comportent de la même manière que l'ammoniaque avec toutes ces dissolutions, pourvu qu'on élève la température s'il s'agit des carbonates; et pour remettre en évidence la couleur de la fuchsine avec toutes ses propriétés caractéristiques, il suffit de neutraliser par l'acide acétique les parties imprégnées par l'alcali.

Au surplus, l'identité de la matière colorante extraite des divers produits que le commerce prépare, purifiée et ramenée à un état comparable, est mise hors de doute par un ordre de preuves essentiellement chimiques.

On prétendait que la fuchsine préparée par le bichlorure d'étain était chlorée, et qu'en conséquence il était impossible de la confondre avec la matière obtenue par le nitrate de mercure, agent qui, de son côté, ne peut fournir que de l'oxygène.

Cette manière de voir ne s'accorde pas avec l'expérience. En effet, si l'on prend l'une ou l'autre des matières obtenues par le bichlorure d'étain ou par le nitrate de mercure, en les brûlant dans un creuset de platine avec un mélange de nitre et de carbonate potassique purs, on ne trouve pas de chlore dans le résidu de la combustion, lorsque la purification de la matière a été complète.

D'autre part, en dosant les deux éléments importants de la fuchsine extraite de tous ces produits bruts, rouges dérivés de l'aniline, savoir, le carbone et l'azote, on retrouve toujours environ 70 p. 100 de carbone et 13 p. 100 d'azote.

M. Béchamp, admettant que la fuchsine est oxydée, la représente par les formules

$$C^{12} H^{5} Az O \text{ ou } C^{12} H^{6} Az O$$

qu'il croit qu'on devra doubler. (*Annales de chimie*, t. LIX, p. 407). Elles correspondent à 72,5 de carbone et 14,10 d'azote.

Quel caractère peut-on assigner à la fuchsine, relativement à sa manière d'être vis-à-vis des autres corps? Sans vouloir contester qu'elle puisse jouer le rôle de base dans certains cas, nous nous croyons autorisés à admettre qu'elle remplit non moins souvent, et peut-être plus, le rôle d'acide. Sous l'influence des acides, la fuchsine peut toujours teindre, car, dans ces circonstances, elle est libre et apparaît avec toutes ses propriétés. Au contraire, en dissolution dans les bases puissantes, potasse, soude, ammoniaque, etc., avec lesquelles elle fonctionne comme un véritable acide, elle devient incolore; elle ne teint plus; il faut l'intervention d'un acide pour la déplacer et pour lui rendre son aptitude à se combiner avec les fibres textiles.

Il est donc incontestable que la fuchsine se produit dans un grand nombre de circonstances avec les mêmes caractères organoleptiques et chimiques; il n'en reste que plus curieux qu'on ait été si longtemps à découvrir cette précieuse transformation de l'aniline que tant de chimistes, et des plus habiles, avaient maniée si souvent (Fritsche, Laurent, Gerhard, Hoffmann).

S'il est un essai qui devait frapper les savants et les industriels, et leur donner une idée du pouvoir colorant renfermé dans l'aniline, c'est évidemment l'expérience de Stenhouse qui fit voir qu'il suffit de quelques gouttes de *furfurol* pour colorer l'aniline en rouge intense; la réaction est si nette que ces deux agents deviennent les réactifs les plus précieux qu'on connaisse pour se déceler réciproquement.

Lorsqu'on traite par le furfurol une dissolution d'aniline dans l'acide acétique moyennement concentré, en ajoutant le furfurol goutte à goutte, la liqueur devient rouge; le liquide se décolore par le repos, en même temps qu'il se forme sur les parois du vase une masse poisseuse foncée qui possède le reflet vert des cantharides et qui constitue la matière colorante presque pure. Cette substance, lavée et séchée, devient dure et cassante avec un magnifique éclat vert doré.

M. J. Persoz a fait une étude de ce corps remarquable dans lequel le furfurol semble entrer comme partie constituante; presque insoluble dans l'eau, cette matière se dissout dans l'alcool, dans l'esprit de bois et dans l'acide acétique concentré; comme la fuchsine, elle est décolorée par l'ammoniaque et reprend sa couleur par l'acide acétique concentré.

Soumise à des essais de teinture, elle se combine directement aux tissus de laine et de soie; les nuances sont aussi vives que celles obtenues au moyen de la fuchsine; malheureusement elles n'ont aucune stabilité; elles disparaissent en quelques heures, même à l'abri de la lumière; en fragments épais, la couleur s'altère aussi, elle colore alors l'alcool en brun.

Le furfurol est-il seul capable de colorer l'aniline en rouge? M. Horace Kœchlin a remarqué qu'en traitant par l'acide chlorhydrique un mélange d'aniline et de goudron de bois, on obtient une matière d'un très-beau rouge qui rappelle par ses propriétés le produit que M. Renard livre au commerce sous le nom de fuchsine, et dont vainement on lui conteste la propriété.

17. Orcanette (*orcanettine, anchusine*).

On emploie en pharmacie, pour colorer en rouge les matières grasses, une substance particulière qu'on désigne sous le nom d'orcanette, et dont l'étude eût pu suivre celle de la racine de gremil, c'est la racine du *lithospermum tinctorium*. On nommait d'abord orcanettine le principe colorant qui se trouve surtout dans la partie corticale. On la traite par l'éther, on filtre et on fait évaporer. Le résidu fusible à 60 degrés est une résine impure à laquelle on a donné le nom d'orcanettine.

Orcanettine. — Ce principe est soluble dans l'alcool et dans l'éther qu'il colore en rouge; l'eau n'en dissout que des traces et précipite toute l'orcanettine de sa

dissolution alcoolique; l'acide acétique la dissout; sa dissolution ne précipite pas la gélatine.

La potasse, la soude, la baryte, la strontiane forment avec elle des dissolutions bleues; l'acétate de plomb forme un précipité bleu; le précipité est plus abondant avec le sous-acétate. Le chlorure d'étain donne un dépôt cramoisi, les sels de fer et d'alumine un précipité violet. La couleur de ces laques, qu'on peut employer dans l'impression, a motivé la place que nous donnons à cette matière colorante en tête des matières violettes. L'acide sulfurique la décompose; l'acide nitrique la transforme en une matière jaune amère et en acide oxalique. Elle est détruite par le chlore. La solution alcoolique d'orcanettine additionnée d'eau bouillante passe au violet et vire au bleu par la concentration; elle s'altère par l'évaporation, en laissant une matière noire comme résidu. Ce résidu colore l'alcool et l'éther en lilas et les huiles en bleu. Les acides le verdissent et les alcalis le ramènent au bleu.

Pelletier a fait voir que l'orcanettine n'était pas un principe défini; il en a retiré l'*anchusine*, qu'il considère comme plus pure.

Anchusine. — M. Lepage, pharmacien à Gisors, pour préparer l'anchusine épuise l'orcanette réduite en poudre grossière par le sulfure de carbone; il distille les liqueurs réunies et expose pendant quelque temps à la chaleur du bain-marie le résidu qu'il traite par une liqueur alcaline contenant 2 p. 100 de soude caustique. L'anchusine se dissout; on la traite par l'acide chlorhydrique; le précipité ne se forme qu'après vingt-quatre heures au moins; on le lave et on le fait sécher.

Nous avons dit l'analogie que présentait au point de vue des caractères chimiques la lithospermine extraite par MM. Ludwig et Kromayer de la racine de grémil, et la matière que MM. Bolley et Wydler ont retirée de l'alkanna tinctoria, plante également de la famille des borraginées.

Ces matières, qu'on peut précipiter à l'état de laques, pourront être employées dans l'impression; elles produiront des nuances particulières qui peuvent constituer des nouveautés à des moments donnés.

18. VIOLET D'ANILINE (*anilèine, harmaline, indisine*).

Nous avons déjà fait connaître les propriétés de l'aniline; nous rappellerons celles qui ont servi de point de départ à son emploi dans l'art de la teinture pour obtenir des nuances d'un magnifique violet. On lit dans Gerhardt :

« La solution des hypochlorites alcalins se colore par l'aniline en bleu violacé. Cette couleur est très-fugace et passe rapidement au rouge sale, surtout au contact des acides. Une coloration bleue semblable se produit avec l'acide sulfurique et le chromate de potasse ... Une solution aqueuse d'acide chromique produit dans les solutions d'aniline un précipité coloré en vert, bleu ou noir, suivant la concentration de la liqueur précipitée. On peut mêler l'aniline avec l'acide nitrique étendu sans qu'elle se décompose; mais, en employant l'acide nitrique concentré et fumant, il suffit d'en verser quelques gouttes sur l'aniline pour qu'elle se colore à l'instant même en bleu foncé.

« Lorsqu'on fait agir du chlore sur l'aniline dissoute dans l'acide chlorhydrique, le liquide se colore en violet, se trouble et sépare une masse brune et résinoïde (*loc. cit.*, p. 82).

« Lorsqu'on mélange une petite quantité d'un sel d'aniline sur de la porcelaine avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, puis avec une goutte d'une solution de chromate de potasse, on voit apparaître au bout de quelques minutes une belle couleur bleue qui disparaît bientôt après (*loc. cit.*, p. 86).

« Les combinaisons de l'aniline avec les acides sont généralement incolores; toutefois elles rougissent à l'air, surtout quand elles sont humides, et prennent alors une légère odeur (*loc. cit.*, p. 85). »

Tel était en 1856 l'état de nos connaissances touchant le développement des couleurs au moyen de l'aniline, et il n'est pas inutile de faire remarquer qu'en signalant comme on l'a fait l'instabilité des couleurs produites, on écartait naturellement toute idée de les appliquer.

Fort heureusement pour l'industrie, M. Perkin, reprenant l'étude des phénomènes de coloration produits par l'aniline, réussit à isoler la matière violette sur une certaine échelle, et put ainsi se livrer à l'examen de ses propriétés tinctoriales. Son travail fut couronné d'un plein succès, et donna lieu en Angleterre, le 26 août 1856, à la demande d'une patente scellée le 2 février 1857.

Dans ce brevet, Perkin ne fait que mettre à profit les données expérimentales acquises à la science; pour former la couleur il suffit d'oxyder l'aniline, et pour obtenir cette oxydation, il a recours au bichromate de potasse, l'un des agents oxydants les plus énergiques. Voici comment on opère :

On prend une solution froide de sulfate d'aniline, ou de toluidine, ou de xylidine, ou de cumidine, ou un mélange de ces solutions et une quantité suffisante d'une solution froide d'un bichromate soluble contenant assez de base pour convertir l'acide sulfurique contenu dans les solutions ci-dessus mentionnées en un sulfate neutre. On mélange ces solutions et on les laisse reposer pendant dix ou douze heures. Ce mélange consistera alors en une poudre noire et une solution d'un sulfate neutre.

On verse le tout sur un filtre, on lave le dépôt à l'eau jusqu'à ce qu'il soit débarrassé du sulfate neutre, et l'on sèche la substance ainsi obtenue à la température de 100 degrés centigrades; on la traite plusieurs fois avec du naphte provenant du goudron de houille, jusqu'à ce qu'elle soit débarrassée d'une résine soluble dans le naphte : mais toute autre substance que le naphte du goudron de houille dans laquelle la substance brune serait soluble et la matière colorante insoluble pourrait être employée.

On débarrasse le résidu du naphte par l'évaporation et on le fait digérer avec de l'esprit de bois, ou mieux dans de l'alcool ou tout autre liquide dans lequel la matière colorante est soluble. La matière colorante se trouve alors en solution; on sépare l'alcool de la matière colorante par la distillation à la température convenable. C'est encore par l'acide sulfurique et le bichromate que MM. Renard frères et Franc, à Lyon, préparent le violet d'aniline, qu'ils livrent au commerce sous le nom d'*indisine*.

25 kilog. d'aniline sont transformés en sulfate par 13 kilog. d'acide sulfurique étendu à 5 degrés, c'est-à-dire par 650 kilog. d'eau; le sulfate d'aniline est traité par 25 kilog. de bichromate de potasse; au bout de 48 heures, en décante pour enlever une poudre noire qu'on fait sécher et qui pèse 32 kilog.; ces 32 kilog. sont traités par 49 litres d'alcool, qu'on étend de 240 litres d'eau; on filtre et on distille; on trouve sur le filtre un résidu pesant 10 kilog. 250; après le départ de l'alcool, 120 kilog. de dissolution aqueuse représentent le produit utile.

4 kilog. 800 de cette dissolution qui représente 1 kilog. d'aniline, traités par 450 grammes de carbonate de soude, précipitent 34 grammes de matière colorante sèche; on voit donc, d'après cette expérience, que le kilogramme d'aniline fournit 4,800 grammes d'indisine à l'état de carmin, 34 grammes de matière colorante pure et 410 grammes de matière résineuse noire insoluble dans l'eau, l'alcool et les éthers.

Depuis les travaux de Perkin, on a eu recours dans

l'industrie à d'autres moyens plus économiques pour préparer l'indisine. Si, comme on l'a vu, l'opération se réduit à oxyder l'aniline, on comprend que tout naturellement on ait été conduit à remplacer l'acide chromique, qui est d'un prix assez élevé, par le chlore sous l'influence de l'eau, par l'acide chloreux, par les hypochlorites, etc.

Enfin, comme dans toutes ces circonstances, on produit toujours simultanément une couleur et une resine; on s'explique l'emploi de diverses méthodes de séparation appliquées jusqu'ici et qui se réduisent les unes à enlever la matière colorante et à laisser la résine pour résidu, et les autres, au contraire, à dissoudre la résine et à laisser l'indisine comme résidu non soluble.

Indisine. — Nous nommerons ainsi la matière colorante violette qui dérive de l'aniline sous l'influence des agents oxydants; nous abandonnerons les noms d'harmaline et d'anileïne, en préférant le premier qui rappelle davantage la grande analogie que cette matière colorante présente avec l'indigo. On a voulu confondre à la fois la fuchsine et l'indisine en soutenant que, formées toutes les deux en vertu d'une même et unique cause, on développait à volonté l'une ou l'autre par le même procédé; nous avons vu qu'il n'en est rien et que les deux méthodes sont essentiellement différentes; il n'y a de commun que l'intervention d'un seul corps, l'aniline; d'ailleurs, les caractères de ces deux corps sont tellement tranchés, qu'il n'y a pas lieu de les prendre l'un pour l'autre.

En effet, la fuchsine se dissout dans l'ammoniaque, et l'indisine y est insoluble; la fuchsine se dissout dans l'acide sulfurique qu'elle colore en jaune; l'indisine se dissout également dans cet acide, mais pour le colorer en bleu; la fuchsine est décolorée par l'acide sulfureux; l'indisine résiste à l'action de cet agent réducteur; enfin, l'indisine étant le résultat de l'oxydation de l'aniline, qui est aussi un des dérivés de l'indigo, elle conserve avec ce dernier corps des analogies qui sont telles, qu'oubliant pour un instant que l'indisine est une couleur violette, on pourrait la prendre pour l'indigo, en réalisant sur elle tous les phénomènes de réduction et d'oxydation qu'on obtient si facilement avec l'indigo dans les nombreuses circonstances où l'on fixe industriellement cette matière tinctoriale sur les tissus de laine et de coton.

On admet bien que l'indisine dérive directement de l'aniline; mais quand on considère qu'un kilogramme d'aniline fournit moins de 40 gram. de couleur pure, on est tenté de se demander si la coloration n'est pas au contraire un produit accidentel. Il y a nécessité dans l'état actuel de nos connaissances de bien définir la véritable nature de l'aniline, telle que le commerce la prépare. Je crois à la présence d'au moins quatre substances différentes huileuses, basiques, mais formant des sels cristallisant dans des systèmes différents et de solubilités fort éloignées les unes des autres. A laquelle de ces substances faut-il attribuer la formation de la fuchsine et celle de l'indisine?

Nous avons vu qu'on n'est pas entièrement d'accord sur la génération de l'acide fuchsique; la même incertitude règne sur la composition de l'indisine. D'après M. Wilm, elle serait représentée par la formule

$$C^{36} H^{17} Az^{3} O^{2},$$

et l'équation

$$3 (C^{12} H^{7} Az) + O^{6} = C^{36} H^{17} Az^{3} O^{2} + 4 (HO)$$

rendrait compte de sa génération.

D'après M. Scheurer, elle devrait être représentée par la formule

$$C^{30} H^{14} Az^{2} O^{2},$$

et l'équation

$$5 (C^{12} H^{7} Az) + O^{4} = 2 (C^{30} H^{14} Az^{2} O^{2}) + Az H^{3} + 4 (HO)$$

rendrait compte de la réaction. Toutefois on ne retrouve pas d'ammoniaque parmi les produits formés.

Quoi qu'il en soit, voici les différentes méthodes au moyen desquelles on prépare l'indisine et les variétés que l'industrie prépare actuellement.

D'après MM. Beale et Kirkham, on mélange un volume d'une dissolution aqueuse saturée d'aniline avec un volume d'acide acétique marquant 5 degrés à l'aréomètre; à cette dissolution acide on ajoute graduellement un volume de chlorure de chaux faible; on arrête l'addition du chlorure de chaux quand la liqueur a pris une belle nuance d'un bleu violet.

On peut remplacer le chlorure de chaux par un dégagement de chlore qu'on fait passer à travers la solution d'acétate d'aniline.

Pour obtenir des dissolutions plus concentrées, on se sert d'hydrochlorate d'aniline marquant 4° ½ Baumé, auquel on ajoute un volume d'acide acétique à 5° et le même volume de chlorure de chaux marquant également 5 degrés.

Dans tous les cas, le liquide se colore d'abord en bleu violacé, puis en lilas. Il teint en ces mêmes nuances.

On peut encore se servir, comme agent oxydant réagissant sur les sels d'aniline étendus d'eau, de peroxyde de manganèse, de peroxyde de plomb ou de permanganate de potasse. D'après Kay, si l'on combine 50 parties d'aniline, 40 parties d'acide sulfurique d'une densité de 1,85 étendu de 1,400 parties d'eau, il suffit d'ajouter à la dissolution de sulfate d'aniline 200 parties de peroxyde de manganèse; on chauffe le tout à 100 degrés en agitant tant qu'il se forme un précipité. Le produit liquide qui renferme la matière colorante en dissolution est séparé par filtration du précipité. Ce dernier est débarrassé de toute la matière colorante qu'il peut contenir par l'acide sulfurique étendu; on filtre et on réunit les deux dissolutions limpides; on y verse de l'ammoniaque qui précipite la matière colorante. Le précipité recueilli, lavé et desséché, est traité par l'alcool ou l'esprit de bois qui dissolvent la matière colorante.

D'après Price, l'oxydation peut être obtenue par l'emploi du peroxyde de plomb résultant de l'action du chlorure de chaux sur l'acétate de plomb, lavé et conservé à l'état humide. La réaction se fait à la température de l'ébullition; suivant les proportions employées, on obtient des couleurs différentes, que l'auteur a nommées *violine d'aniline*, *purpurine d'aniline* et *roséine d'aniline*.

Violine d'aniline. — On dissout 4 parties d'aniline, 4 parties d'acide sulfurique, 80 parties d'eau et 5 parties de peroxyde de plomb qu'on ajoute dans le liquide porté à 100 degrés. On filtre la liqueur bouillante; elle renferme, outre la matière colorante, du sulfate d'aniline non décomposé; en ajoutant un petit excès de soude, on isole l'aniline qu'on sépare par distillation. Le résidu est lavé à l'eau froide, puis dissout à chaud par une liqueur contenant de l'acide tartrique, on filtre et on concentre pour réduire. Pendant la concentration il se dépose encore des matières résineuses.

Purpurine d'aniline. — Si l'on prend 8 parties d'aniline, 4 d'acide sulfurique, 80 d'eau et 5 de suroxyde de plomb, on obtient une couleur plus pourprée; les eaux mères sont traitées comme nous l'avons dit au sujet de la violine.

Roséine d'aniline. — Lorsqu'on prend 4 parties d'aniline, 2 d'acide sulfurique, 80 d'eau, et 10 de peroxyde de plomb, on obtient une liqueur plus rosée que la précédente.

D'après M. William, lorsqu'on décompose le sulfate d'aniline impur par de l'hypermanganate de potasse, il se fait un précipité qui contient des matières colo-

rantes bleues, violettes ou pourpres, exemptes des matières impures brunes auxquelles le bichromate de potasse donne naissance. La couleur précipitée, lavée et desséchée, est traitée par l'huile légère de houille qui enlève quelques impuretés, puis traitée par de l'alcool pour dissoudre la matière colorante.

Dans cette réaction, il se forme, outre l'indisine, une seconde matière qui reste en dissolution et qui teint la fibre textile, surtout la soie, en rouge cramoisi, ou rouge écarlate.

L'anileine, l'indisine et l'harmaline se rencontrent dans le commerce sous forme liquide en dissolution dans l'alcool ou l'esprit de bois ; c'est un liquide violet, assez clair pour qu'on doive le gommer sans addition pour l'employer à l'impression ; il présente quelquefois des gouttelettes qui se résolvent par la chaleur en une liqueur homogène.

Le violet d'aniline s'unit aux tissus sans mordant ; mais si l'on veut obtenir sur coton toute l'intensité possible, il faut, ainsi qu'il convient pour les matières colorantes qui teignent les tissus du règne animal plus facilement que les fibres végétales, recourir à l'emploi des mordants organiques recommandés pour la première fois par Haussmann, et dont l'usage a été généralisé par M. Broquette.

Pour l'indisine, il suffit d'une préparation du coton avec une eau d'albumine à 50 gr. par litre ; les cotons huilés pour rouge turc donnent toutefois des nuances plus solides que ceux qui sont albuminés.

Nous terminerons cette note par une observation de M. Berthelot, qui croit qu'on ne peut affirmer la présence de l'aniline dans les produits de certaines réactions d'après la coloration qu'on obtient par le concours du chlorure de chaux ; il cite, entre autres faits, qu'il a constaté la même coloration en traitant l'acide phénique par l'ammoniaque, puis, par le chlorure de chaux ; le point capital pour le teinturier serait la production d'une coloration aussi vive que celle que donne le violet d'aniline par tout autre moyen conduisant à moins de dépenses.

19. Orseille de terre (*lécanorine*, *orcine*, *orcéine*).

L'orseille est assurément, parmi les matières colorantes employées en teinture, l'une de celles qui fixe le plus l'attention. Les travaux dont cette matière est devenue l'objet, les intéressants résultats qu'ont mis en évidence les recherches de Robiquet en ont fait une sorte de type auquel on a rapporté plus tard la formation des principaux principes colorables, desquels on a fait dériver des substances colorantes, seules utiles dans les arts de la teinture. Quant à l'origine de l'orseille, quant à l'histoire des variétés diverses que le commerce présente au choix du consommateur, quant encore aux procédés généraux au moyen desquels on prépare ces différents produits, nous n'aurions rien à dire au delà de ce que M. Mallet a cru devoir citer dans son article ORSEILLE ; nous nous bornerons à nommer les trois principales matières auxquelles on emprunte l'orseille du commerce. Nous avons déjà cité l'orseille de terre, ou *variolaria dealbata*, qui croît sur les rochers sauvages de l'Auvergne ou des Pyrénées.

20. Orseille des îles (*orcéine*).

L'orseille la plus estimée provient du *lichen rocella* qu'on rencontre principalement aux Canaries et aux îles du cap Vert. Le commerce s'en faisait par Lisbonne ; les variétés découvertes en abondance dans le royaume de la Guyane ont amené sur le prix de vente des lichens du cap Vert une diminution de près de 60 p. 100.

21. Orseille des murailles (*orcéine*).

Le *lichen tartoreus* sert ordinairement à préparer la matière qu'on nomme *persio* ou *cudbear*. Comme la transformation de ces végétaux en orseille est la même, nous ne nous arrêterons pas plus longtemps sur ce sujet. Nous insisterons seulement sur la partie théorique de cette fabrication en exposant les caractères spéciaux de la matière colorable et ceux du principe coloré qui constitue la majeure partie de la substance tinctoriale à l'état d'orseille, de cudbear ou de persio. Nous reprendrons la fabrication à l'année 1855 et nous mettrons en parallèle divers procédés connus aujourd'hui pour communiquer à la couleur de l'orseille une certaine solidité.

La matière colorante n'existe pas toute formée dans le lichen, mais elle se produit par suite de la transformation très-remarquable que subit la *lécanorine*, matière très-intéressante contenue dans le lichen, susceptible de produire avec le concours de l'eau sous l'influence des alcalis et des bases alcalino-terreuses de l'acide carbonique et une substance particulière, incolore, non azotée que Robiquet a su préparer à l'état de liberté ; c'est l'*orcine* qu'il a fait connaître par ses propriétés et sa composition.

Il résulte de nombreuses expériences que nous avons faites, MM. Fremy, Cahours et moi, nommés experts dans le procès de contrefaçon Frezon contre Pommier, que le lichen peut être considéré comme formé par le mélange de trois parties distinctes, savoir :

1° Une partie insoluble, non susceptible de se colorer, constituant la majeure partie de la plante et formée de matières herbacées, ligneuses ou terreuses, indécomposables par l'eau froide ou par l'eau chaude ;

2° Une partie soluble formée de substances salines ou gommeuses ; cette seconde partie est comme la première non colorable ;

3° Enfin une partie blanche qui joue le plus grand rôle dans la fabrication de l'orseille, que nous avons étudiée d'une manière attentive ; cette substance n'est pas soluble dans l'eau froide ; elle se détache en grande partie quand on frotte le lichen au sein de ce liquide ; la macération humide la met à l'état de liberté ; elle reste en suspension dans l'eau. L'eau chaude la modifie d'une manière rapide en facilitant sa transformation sous l'influence simultanée de l'eau, de l'ammoniaque et de l'air. Mise en suspension dans l'eau, elle ne se dépose qu'avec une excessive lenteur, elle reste sur les filtres de papier auxquels elle s'attache fortement, mais elle traverse les filtres de laine peu feutrée. Elle est très-soluble dans l'ammoniaque. C'est la matière utile des lichens dans la fabrication de l'orseille ; c'est elle qui, s'altérant sous l'influence simultanée de l'air humide et de l'ammoniaque, donne naissance à l'orcine colorable, et conséquemment aux autres composés colorés qui peuvent en dériver.

Orcine. — Pour préparer l'orcine à l'état de pureté, on emploie, d'après Robiquet, le procédé suivant : on épuise le lichen par l'alcool bouillant, le liquide laisse déposer par refroidissement des flocons blancs cristallins, d'une matière résineuse ; la dissolution est évaporée jusqu'à consistance d'extrait. On broie cet extrait avec de l'eau froide qu'on renouvelle jusqu'à ce qu'elle n'ait plus de saveur. Les solutions aqueuses, réunies par l'évaporation à consistance sirupeuse et abandonnées à elles-mêmes dans un lieu frais, laissent déposer au bout de quelques jours de longues aiguilles d'orcine ; on comprime ces dernières dans du papier joseph pour les ressuyer ; on les décolore par le noir animal, puis on les fait cristalliser de nouveau. L'orcine forme alors de longs prismes opaques d'un blanc jaunâtre. Ils sont hydratés.

L'orcine est soluble dans l'alcool et dans l'eau ; sa dissolution possède une saveur sucrée très-prononcée ; elle est fusible ; sous l'influence de la chaleur, elle perd d'abord de l'eau pour se transformer en orcine anhydre.

Cette dernière entre en ébullition à 290 degrés, puis elle distille sous forme de sirop, sans laisser de résidu. Aucun sel métallique ne la précipite, à l'exception du sous-acétate de plomb; ce sel fournit un précipité lourd, caséeux. Au contact de l'air et des alcalis, la solution aqueuse d'orcine brunit fortement. Au contact de l'ammoniaque, elle forme un produit coloré d'une nuance violette des plus riches; c'est l'orcéine, matière colorée des orseilles.

Orcéine. — Il faut, pour la formation de l'orcéine, le concours simultané de l'air humide et de l'ammoniaque; l'ammoniaque seule est absorbée par l'orcine, sans modification, puisque, par simple évaporation de l'alcali volatil, l'orcine reparaît avec ses propriétés primitives, l'eau se borne à la dissoudre. L'oxygène sec est sans action sur elle. Il n'en est plus de même sous l'influence simultanée de ces trois agents. Il se forme d'abord de l'orcéine, puis de l'*orcéinate d'ammoniaque*.

Pour exécuter cette transformation, on met l'orcine en poudre dans une soucoupe à fond plat, qu'on place sur un verre à pied contenant de l'ammoniaque liquide, puis on recouvre le tout d'une cloche. Dans l'espace de 24 heures l'orcine prend une couleur brun foncé, elle finit par devenir violacée; elle se dissout alors dans l'eau, qu'elle colore en un magnifique violet.

L'orcéine se dissout dans l'ammoniaque à laquelle elle communique une couleur pensée très-riche, et dans les alcalis fixes avec une couleur rouge violacée. L'addition d'un acide sépare l'orcéine de ces dissolutions. Par distillation sèche, elle répand une odeur ammoniacale; ce qui prouve qu'elle est azotée. Les sels de plomb et d'argent déterminent dans la dissolution d'orcéinate d'ammoniaque des précipités d'un rouge noirâtre foncé. Le sulfhydrate d'ammoniaque fait disparaître la couleur rouge de la dissolution ammoniacale. La couleur rouge reparaît au contact de l'air.

Les relations qui lient les compositions par lesquelles on représente la lécanorine, l'orcine et l'orcéine, sont des plus simples. Si l'on admet la formule

$$C^{18}H^{8}O^{8}$$

pour représenter la composition de la lécanorine, l'équation

$$3(HO) + C^{18}H^{8}O^{8} = C^{16}H^{8}O^{4},3(HO) + 2(CO^{2})$$

rend parfaitement compte de sa transformation en orcine, et l'équation

$$C^{16}H^{8}O^{4},3(HO) + O^{5} + AzH^{3} = C^{16}H^{9}AzO^{7} + 5(HO)$$

explique la formation de l'orcéine dans laquelle les trois équivalents d'eau de l'orcine sont entrés à titre nouveau par un nouvel arrangement moléculaire.

Mais, si simples que soient ces calculs, il est vraisemblable que les orseilles du commerce doivent leurs propriétés à des principes plus variés qui jouissent à des degrés différents de la propriété de se décolorer à l'air; nous allons le voir en cherchant à faire connaître les conditions dans lesquelles on a préparé les orseilles solides.

On a proposé, comme on l'a vu dans le t. II de ce Dictionnaire à l'article ORSEILLE, pour faire l'orseille un moyen très-simple, l'épuisement par l'eau chaude et le traitement des dissolutions par l'ammoniaque comme dans les anciennes méthodes. Ce procédé, breveté le 31 octobre 1848 en faveur de M. Ch. Pommier, est décrit de la manière suivante dans la description du brevet et dans un certificat d'addition du 5 novembre 1848.

« Ma méthode consiste à prendre à l'état brut un lichen tinctorial quelconque, même l'orseille de terre de diverses provenances, l'épuiser au moyen de l'eau bouillante par des lavages successifs, et traiter simplement ces eaux de lavage par les moyens connus de la fabrication d'orseille, c'est-à-dire par les alcalis, l'urine, la chaux, et, dans certains cas, par des additions d'acides et de sels différents.

« Dans certains cas, je me réserve le droit d'épuiser, soit à chaud, soit à froid, les matières tinctoriales désignées dans mon brevet, soit avec de l'urine, de l'eau alcaline ou saturée de chaux.

« Après l'épuisement des lichens ou des orseilles de terre par l'eau bouillante, l'urine ou l'eau alcaline saturée de chaux, je me réserve aussi le droit de filtrer ces liquides ou de les laisser déposer pour les décanter ensuite, afin de les débarrasser d'une matière étrangère à celle colorante et les mettre après cette opération en fabrication, comme je l'ai décrit dans mon brevet.

« Je me réserve aussi le droit d'extraire la matière colorante des lichens ou des orseilles de terre désignés dans mon brevet, par la distillation, et la mettre ensuite en fabrication, après l'avoir débarrassée des matières étrangères principalement résineuses. »

Le tribunal de la Seine, ne voyant dans ce procédé qu'une séparation préalable, a jugé que ce brevet de M. Ch. Pommier n'était qu'une contrefaçon de celui de Frezon dont nous croyons devoir exactement donner la description; il est fâcheux qu'à cette époque les intéressants travaux de M. Stenhouse n'aient pas été plus connus en France; le tribunal eût conclu tout autrement.

M. Frezon agit sur la matière blanche détachée de la fibre ligneuse par frottement et macération; il la maintient en suspension dans l'eau froide et se débarrasse du ligneux par une filtration grossière qui joue le rôle d'un véritable tamisage. L'eau qui retient en suspension la matière blanche, c'est-à-dire la matière utile, est soumise à l'influence d'un sel d'étain qui produit une espèce d'encollage, et rassemble sous forme d'un précipité cette matière blanche qui, plus tard, se change en matière colorable par l'action de l'eau, de l'air et de l'ammoniaque. Nous le laisserons parler.

Pour obtenir ce qu'il nomme *orseille pure et universelle, pure*, parce qu'elle ne contient aucun des corps inutiles et nuisibles que renferment les orseilles du commerce, *universelle*, parce qu'elle s'emploie telle qu'on la livre au consommateur, soit pour la teinture, soit pour l'impression et dans tous les genres, il dit :

« Pour fabriquer mon orseille pure, je me sers indistinctement de toutes espèces de lichens et de varielaires; le travail étant le même pour toutes ces plantes, je ne parlerai que des lichens.

« Après avoir enlevé aux lichens les corps nuisibles à la fabrication, je les soumets à un lavage d'eau simple que j'exécute comme suit :

« Pour faire le lavage des lichens je me sers de trois barques en bois, n°s 1, 2 et 3, je les remplis d'eau jusqu'à hauteur convenable pour pouvoir y mettre les lichens que je veux laver et pouvoir les brasser.

« En supposant que les barques dont je veux me servir soient assez grandes pour contenir chacune 33 kil. de lichens, je dispose d'une partie de lichens du poids de 100 kil. que je divise en trois parties égales. J'en prends une première portion que je mets dans la barque n° 1, et je la brasse à peu près pendant 20 minutes soit avec une fourche ou un bâton, puis je la retire dans un panier que je place sur l'un des bouts de la barque pour que l'eau qui s'en égoutte tombe dedans; de là je la mets dans la barque n° 2, dans laquelle je la brasse aussi longtemps, et je prends les mêmes précautions pour la retirer; ensuite je la transporte dans la barque n° 3, et après avoir été brassée comme dans les précédentes barques je la lève dans le panier, et quand elle est assez égouttée je la mets dans une grande cuve en bois blanc; je fais suivre aux deux autres portions de la même partie la même marche que j'ai suivie pour la première, et je réunis tous

les lichens des trois portions dans la grande cuve en bois blanc.

« Avant de commencer le lavage d'une autre partie de lichen que je divise également en trois portions, je vide, par le secours d'une pompe ordinaire, l'eau de la barque n° 1 dans une cuve-filtre placée assez élevée pour pouvoir placer au-dessous une cuve de dimension plus grande que la cuve-filtre; la cuve-filtre est tout simplement un tonneau dans lequel je pose à 15 centimètres du fond un cercle auquel est attaché un tissu de laine un peu feutré, et en dehors, à la partie inférieure de la cuve, se trouve un robinet qui donne passage au liquide filtré et qui tombe dans la cuve qui est au-dessous.

« La barque n° 1 étant vide, je la remplis d'une nouvelle eau et je change les numéros des barques; je place le n° 1 sur le n° 2 ancien, le n° 2 sur le n° 3 ancien, et le n° 3 sur la barque n° 1 qui est vide; après ce changement fait, j'exécute le lavage de cette seconde partie divisée en trois portions, comme j'ai fait pour la partie précédente, en commençant dans la barque n° 1 et finissant dans la barque n° 3.

« Les lichens, après être ainsi lavés, sont broyés par l'action d'un moulin garni de meules en pierre; ce moulin ressemble à ceux qui sont employés pour moudre le blé, seulement la trémie, au lieu d'être carrée, se trouve être ronde et conique, et, au centre, se trouve un arbre placé verticalement; à la partie supérieure, il y a un pignon d'angle ou une poulie par laquelle il reçoit un mouvement rotatif; cet arbre porte, sur toute la longueur intérieure de la trémie, des bras dont les longueurs suivent la forme conique de la trémie; au-dessus de cette trémie se trouve un conduit en plomb, et à son extrémité un robinet pour régler la dépense d'eau que m'amène ce conduit, afin de conserver les lichens qui sont, dans la trémie, dans un état voisin de pâte liquide.

« En dehors du moulin, à la hauteur de la partie supérieure de la meule du dessous (celle qui est immobile), se trouve un robinet par lequel s'écoulent les lichens broyés, qui tombent de là dans une cuve placée au-dessous.

« De ces lichens qui ont été broyés par ce moulin, j'extrais la matière qui doit faire la base de mon orseille. Pour obtenir cet extrait, j'emploie les moyens connus pour extraire les corps soluble : par des lavages répétés à l'eau simple et à froid. Je réunis ces eaux de lavage en une seule liqueur que je filtre avec la cuve à filtrer, qui est faite comme celle qui m'a servi pour filtrer les eaux de lavage des lichens avant d'être broyés; ce filtrage n'a d'autres effets ici que de débarrasser la liqueur de quelques fragments provenant du tissu organique des lichens.

« Cette liqueur ainsi obtenue contient, en outre de la matière qui me sert à fabriquer l'orseille pure, plusieurs corps dont il faut la séparer.

« Pour séparer la matière qui doit servir à la fabrication de l'orseille pure des autres corps étrangers et nuisibles contenus dans cette liqueur, j'y parviens en employant les sels qui ont la propriété de précipiter.

« Après avoir mis la liqueur filtrée dans une cuve à décanter, munie à son intérieur de plusieurs robinets placés les uns au-dessus des autres, de manière à pouvoir laisser écouler les eaux surnageantes au-dessus du précipité, je verse un peu de deutochlorure d'étain liquide et j'ai soin de bien remuer le tout; après quelques heures de repos, il se forme un précipité; j'ouvre les robinets les uns après les autres, en commençant par celui placé le plus haut, et je finis par celui le plus rapproché de la partie supérieure du précipité qui est d'une couleur blanche un peu verdâtre; l'eau surnageante est d'un blond foncé, mais bien vif; je suppose que cette eau contient tous les corps résineux, gras et gommeux; le précipité est mis sur un filtre plat (semblable à ceux employés dans la fabrication de l'indigo) pour y être lavé avec de l'eau simple et froide; on répète ce lavage jusqu'à ce que l'eau qui s'en écoule ne soit plus acidulée, et je laisse le précipité sur le filtre pour laisser égoutter jusqu'à ce que la pâte se fendille.

« Cette pâte, arrivée à cet état, forme la matière qui me sert à fabriquer mon orseille pure, et à laquelle il ne manque plus qu'à faire développer cette belle couleur connue de l'orseille par l'action simultanée de l'air et de l'ammoniaque.

« J'observerai ici que je ne peux, dans cette description, indiquer la quantité qu'il faut de deutochlorure d'étain liquide pour précipiter la matière qui constitue mon orseille pure, cela dépendra de la force et de la quantité du liquide sur lequel on opère; également je n'entends pas m'attacher à n'employer comme précipitant que le deutochlorure d'étain liquide; on peut se servir de tous les agents qui ont la propriété de précipiter les extraits aqueux provenant des lichens (nous avons observé que l'acide chlorhydrique possède cette propriété).

« Pour transformer cette pâte en la matière que j'appelle *orseille pure*, je la mets dans une barque en bois pareille à celle employée dans la fabrication d'orseille ordinaire; je l'arrose avec de l'alcali volatil et je la brasse très-souvent dans les premiers jours; après quinze jours de travail, elle commence à paraître d'une bonne nuance, mais elle n'est vraiment bonne qu'après un mois de fabrication dans la barque.

« La nuance violetée ou rougeâtre peut se produire par l'action des mêmes sels employés dans la fabrication ordinaire.

« J'obtiens par ces procédés mon orseille *pure et universelle*; alors elle est en pâte un peu liquide. Il suffit de la faire sécher dans une étuve et de la pulvériser pour la mettre en poudre sèche (ou dans un état très-voisin).

« Les eaux provenant des lavages des lichens avant d'être broyés suivent les mêmes opérations que la liqueur obtenue des lichens qui ont été broyés, mais il faut les fabriquer séparément et en faire une seconde qualité. »

M. Dumas avait appelé l'attention des industriels sur différents points de la fabrication de l'orseille. On lit, en effet, dans son *Traité de chimie*, t. VIII : « Les détails de la fabrication de l'orseille, ayant toujours été tenus secrets, ne sont qu'imparfaitement connus. On doit le regretter, aujourd'hui surtout que les différentes matières tinctoriales qui se forment dans cette opération ont été soumises à une étude attentive; il est probable que les lumières de la science permettront de produire dans un temps plus ou moins long une matière plus abondante, plus pure et plus solide. »

Il y a dix ans à peine que ces lignes étaient écrites, et toutes ces conditions ont été réalisées à la gloire de l'industrie; elles ont été pratiquées sans le concours de la science, au moins de la science pure. Les travaux de M. Stenhouse ont fait connaître la méthode rationnelle de la séparation préalable. Les procédés de M. Pommier donnent une liqueur *abondante*, très-riche. La méthode de M. Frezon conduit à des produits plus *purs*. Enfin personne ne peut dénier à la maison Guinon, Marnas et Bonnet de Lyon, l'honneur d'avoir extrait, pour la première fois, de l'orseille une couleur d'une certaine solidité. Le commerce fournit aujourd'hui diverses matières qui possèdent une résistance beaucoup plus grande que celle que l'orseille présente ordinairement. Nous pouvons citer, en les désignant sous les noms qu'ils ont dans l'industrie, l'orcéine violette de M. Meissonnier, l'orseille solide de M. Hé-

laine, chimiste à Lyon, qui fournit au prix de 40 fr. le kilogramme trois couleurs *également résistantes* et qui ont déjà pris rang dans les ateliers, et la pourpre française découverte par MM. Guinon, Marnas et Bonnet, teinturiers à Lyon. De graves questions de priorité sont encore pendantes, nous n'avons pas à les résoudre ici. Mais nous croyons qu'au nom de l'équité, en laissant à M. Stenhouse le mérite de la séparation préalable, l'idée d'avoir obtenu la matière solide en observant la température à laquelle elle se forme appartient seule à MM. Guinon, Marnas et Bonnet. Les travaux de M. Stenhouse ont doté le domaine public de la séparation préalable. MM. Guinon, Marnas et Bonnet nous semblent valablement brevetés.

Nous allons décrire maintenant les méthodes au moyen desquelles on a transformé l'orseille du commerce en un produit plus stable.

22. Pourpre française (*méta-orcéinote de choux*).

MM. Guinon, Marnas et Bonnet, de Lyon, ont découvert que l'orseille préparée sous l'influence d'une certaine température contenait un principe nouveau, auquel ils ont donné le nom de *pourpre française*. Il y a environ trois ans que ces teinturiers ont introduit dans l'industrie cette nouvelle matière colorante violette, qui joint à un éclat magnifique les avantages d'une solidité relative, et qui a pris immédiatement son rang parmi les matières tinctoriales de premier ordre. Nous ferons suivre cet énoncé des réflexions fort judicieuses que M. J. Persoz a fait insérer dans le *Répertoire de chimie industrielle*, t. I, par 490.

« Si l'on n'examinait sa préparation que d'une manière superficielle, on dirait que cette matière n'est autre que de l'orseille ordinaire, puisqu'elle se forme par l'action mutuelle des mêmes éléments, les lichens, l'ammoniaque et l'air, et qu'il n'y a de différence pour la préparation que dans les conditions successives de température où l'on fait réagir ces éléments, suivant les diverses phases de la métamorphose que subissent les acides colorables des lichens; or ce sont ces conditions qu'il a fallu déterminer d'une manière précise, puisque d'elles seules dépendait le succès de la fabrication de la nouvelle matière, et l'on conçoit facilement que MM. Guinon et Marnas n'y soient arrivés qu'après de nombreux tâtonnements.

« Si faibles que soient les modifications opportées par ces habiles teinturiers au procédé ordinaire de fabrication de l'orseille, elles ont suffi cependant pour changer complétement la nature du produit, tant dans ses caractères physiques que dans ses propriétés chimiques. Ainsi, tandis que l'orseille ordinaire tire à une couleur vinause sale, sous l'action des acides acétique et tartrique, la matière de MM. Guinon leur résiste parfaitement, ainsi qu'on peut s'en assurer sur les échantillons des teintures qu'ils livrent au commerce. » .

Voici, d'après MM. Marnas et Guinon, la marche qu'il faut suivre pour préparer la pourpre française.

« On traite à froid les lichens par une solution ammoniacale ou alcalisée par le carbonate de soude, de manière à dissoudre les acides colorables qu'ils renferment.

« Après quelques minutes de contact, on jette le mélange sur une chausse, et on exprime les lichens, de manière à enlever le plus complétement possible la liqueur adhérente, puis on précipite par l'acide chlorhydrique. Le précipité, étant filtré, lavé et égoutté, est redissous dans l'ammoniaque, et on expose à froid la solution au contact de l'air. »

M. Jules Persoz ajoute :

« Jusqu'ici le procédé de M. Guinon est semblable à celui que les chimistes ont toujours suivi dans la préparation des acides colorables des lichens; mais, au lieu d'abandonner la liqueur à elle-même, jusqu'à ce que la matière colorante de l'orseille soit complétement formée, M. Guinon observe le moment où cette liqueur prend la teinte rouge cerise. Quand elle est arrivée à ce degré, il la porte à l'ébullition et l'y maintient pendant quelque temps. Il l'introduit ensuite, en couches de 5 à 6 centimètres de hauteur, dans des vases à fond plat, de 2 à 3 litres de capacité, qui sont chauffés dans une étuve à une température constante de 70 à 75 degrés. L'opération est terminée lorsque la liqueur a pris une teinte pourpre, et qu'étendue sur du papier blanc, elle ne change plus de nuance, même en desséchant.

« On peut précipiter par l'acide sulfurique ou l'acide tartrique la matière colorante ainsi formée, c'est la pourpre française; mais il est mieux de la précipiter à l'état de laque, pour éviter la présence d'un acide rouge qui change sa nuance. »

On la précipite de préférence à l'état de laque calcaire par le chlorure de calcium; la matière violette est ainsi précipitée; il est vrai qu'elle ne l'est pas en totalité, mais ou moins elle est seule. On peut aussi faire usage d'alun, qui forme une laque d'alumine avec la solution ammoniacale de pourpre française.

Orcéine solide. — M. Maissonnier a désigné sous ce nom l'orseille solide, qu'il livre au commerce également sous forme de laque. C'est une matière qui se confond, par ses caractères physiques, avec la pourpre de M. Guinon, et qui dérive de l'orseille universelle de M. Frezon. On prépare, dans tous les cas, l'orseille après avoir opéré la séparation préalable conformément aux indications de M. Stenhouse; mais il me paraît indispensable, pour obtenir une matière colorante solide fixée par le chlorure de calcium dans la liqueur ammoniacale, que cet alcali réagisse à la température si bien déterminée par MM. Marnas et Guinon. Des essais dirigés dans cette voie m'ont prouvé qu'il n'existe de principe violet solide précipitable par les sels de chaux qu'en quantité minime, si la réaction de l'ammoniaque sur la dissolution du lichen ne s'est faite qu'à la température ordinaire. M. Meissonnier emprunte donc à la propriété de MM. Guinon, Marnas et Bonnet.

Orseille solide. — Pour préparer en grand cette variété d'orseille, on délaye, d'après M. Hélaine, dans une cuve ou tout autre vase convenable, de l'orseille commerciale avec 20 fois son poids d'eau distillée bouillante, et s'il existe dans l'atelier des conduits de vapeur, on se sert d'eau froide et on élève la température avec la vapeur en ayant soin que l'eau de condensation comprise, le liquide se trouve dans la proportion indiquée. On y verse ensuite un poids d'ammoniure d'étain égal à celui de l'orseille, délayé dans l'eau distillée, et on agite jusqu'à ce que la température se soit abaissée de 60 à 50 degrés. On filtre ou on décante. La pâte comprimée est traitée à nouveau par 40 fois son poids d'eau à 40 ou 50 degrés. La liqueur est réunie à la première.

Pour préparer l'ammoniure d'étain, on verse dans une dissolution d'oxymuriate d'étain du commerce un excès d'ammoniaque étendue, et après avoir fait égoutter la pâte on la dissout dans l'ammoniaque concentrée.

Quant aux eaux qui surnagent le premier dépôt, on y ajoute, pendant qu'elles sont encore chaudes, la moitié du poids de l'ammoniure d'étain qu'on a déjà versé dans la première décoction, et on y verse une dissolution de chlorure de baryum, de magnésium ou d'eau de baryte. On obtient de la sorte un second précipité qui peut servir directement ou à la teinture ou à l'impression.

Pour ne rien perdre, on additionne le liquide clair qui s'est séparé de la laque terreuse d'une certaine

quantité d'acide chlorhydrique, qui sépare des matières d'apparence grasse. La nouvelle liqueur est d'une belle teinte orangée; la soie et la laine s'y teignent en cette couleur dans le bain acide; exposée à l'action de l'air et de l'ammoniaque, elle passe également à l'orange, et donne également au bain acide, sur laine et sur soie, une couleur *saumon* ou *abricot*.

La pâte épuisée, comme il vient d'être dit, traitée par une eau acide à l'ébullition, donne une teinture *amarante*; pour la conserver, on y ajoute un peu d'acide, et par la dessiccation on l'obtient sous forme de *cudbeard*. Traitée par l'eau chargée d'acide chlorhydrique pour la soie, la crème de tartre pour la laine, elle fournit la couleur orseille solide, qui résiste aux avivages avec l'acide chlorhydrique de 1 à 4 degrés.

En avivant avec les acides acétique, tartrique, citrique, etc., et ajoutant du carmin d'indigo, de la cochenille ou du safranum, on obtient des teintes variées qui peuvent être d'un très-grand secours dans les ateliers. Nous ne devons pas perdre de vue que les recherches de M. Hélaine ont porté sur l'orseille du commerce et qu'elles ne peuvent engendrer le métaoréinate d'ammoniaque; elles ont conduit à l'isolement de ce produit quand il existe, elles sont incapables de le développer quand il n'existe pas.

Les observations qui précèdent semblent prouver que l'orseille est un composé mixte qui n'a pas la simplicité qu'on serait tenté de lui attribuer d'après les travaux de Robiquet, et que des traitements successifs et convenablement choisis permettent d'en séparer des principes colorables ou colorés, différents comme nuances et aussi comme solidité; ces derniers préexistent dans les lichens, ou résultent, soit d'une destruction plus ou moins avancée de l'orcéinate d'ammoniaque, soit d'une réaction incomplète de l'ammoniaque sur les principes colorables des lichens. On ne trouve rien dans la description de M. Hélaine qui définisse nettement les conditions dans lesquelles se forme l'orseille solide. On la retrouve si elle existe; mais si dans le traitement des lichens il ne s'en est pas formé, la méthode décrite est insuffisante pour la développer.

On ne peut faire le même reproche aux procédés de M. Guinon.

On vient de voir toute l'importance industrielle des recherches dont sont devenues l'objet les couleurs tirées de l'orseille; il serait très-intéressant d'étudier, au même point de vue, la préparation des couleurs altérables qu'on n'a produites jusqu'à présent qu'à des températures ordinaires. La valeur des résultats acquis est de nature à conduire à de prochains perfectionnements dans la fabrication d'un assez grand nombre de produits colorables.

23. Indigo *(indigo blanc, indigotéine)*.

Les réactions auxquelles donne lieu l'indigo bleu dans quelques circonstances parfaitement définies, pourront un jour fournir la clef de bien des phénomènes chimiques que présentent les matières colorées. Au nombre des principes les plus intéressants à coup sûr, on peut placer la fécule bleue fournie par les plantes du genre *indigofera*.

On rencontre dans le commerce, sous le nom d'indigo, le produit d'une préparation spéciale à laquelle on soumet les feuilles de certaines plantes. Les pains cubiques que la consommation reçoit sont un composé très-variable dans lequel l'indigo bleu domine; il entre au moins pour 50 pour 100 du poids de la matière brute.

Nous renvoyons à l'article INDIGO de ce Dictionnaire pour ce qui concerne l'histoire de ce produit, sa préparation, ses débouchés, les variétés que l'industrie rencontre; nous chercherons dans ce travail à faire connaître, surtout au point de vue chimique, les caractères de l'indigotine et sa composition de laquelle résulte la méthode employée pour son application à l'art de la teinture. L'indigotine n'est autre chose que le principe utile de l'indigo; elle est insoluble et ne prend par elle-même aucune adhérence à l'étoffe; il faut l'appliquer à l'état soluble; n'est sous certaines influences réductrices que l'indigo bleu se transforme en *indigo blanc*, forme sous laquelle il se dissout.

Indigo blanc. — Lorsqu'on traite sur les côtes de Coremandel les végétaux qui renferment de l'indigo, c'est toujours des feuilles sèches qu'on l'extrait; on fait infuser pendant deux ou trois heures les feuilles concassées, on passe la dissolution à travers un tissu peu serré, on bat la liqueur et on ajoute environ 48 litres d'eau de chaux pour 100 kilog. de feuilles sèches. On agite pendant quelques minutes; enfin on laisse déposer. Quand le dépôt est formé, on decante; on lave avec un peu d'eau bouillante et on met à égoutter sur une toile le dépôt lavé. On soumet alors l'indigo pâteux à l'action d'une presse, puis on coupe la masse en morceaux cubiques qu'on dessèche à l'air; chacun de ces morceaux peut peser 90 grammes.

L'indigo n'existe donc pas tout formé dans les plantes; il se trouve à l'état soluble, incolore et peut-être même à l'état plus complexe, sous forme d'une matière analogue à la lécanorine du lichen, susceptible de se dédoubler dans l'eau en indigo blanc et d'autres produits : c'est alors l'indigo blanc qu'il conviendrait de désigner sous le nom d'*indigotine*.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on ajoute à la dissolution de l'indigo blanc un excès de chaux, on détermine la formation d'un sel de chaux qui se précipite. Ce sel absorbant l'oxygène de l'air passe petit à petit à l'état d'indigo, bleu qu'il conviendrait de dénommer indigotéine. La chaux, devenue libre, se trouve dissoute dans l'eau ou précipitée sous forme de carbonate de chaux.

Pour obtenir à l'état de pureté l'indigo blanc, il serait difficile de le prendre directement dans les feuilles.

Comme on connaît les conditions dans lesquelles l'indigotéine se décolore, c'est à cette source qu'on doit aller la puiser. Et en effet, lorsqu'on place dans un petit tonneau d'environ 100 litres de capacité du sulfate de fer, de la chaux et 500 grammes d'indigo bleu, on aperçoit une décoloration complète de la masse : on verse le liquide tiède au commencement de l'opération dans des flacons chargés d'acide carbonique pour éviter le contact de l'air; quand les flacons sont à peu près pleins, on y verse de l'acide chlorhydrique étendu et bouillant, de manière à les remplir tout à fait de liquide : on bouche les flacons, et pour les conserver on les immerge complétement dans l'eau.

Dès qu'on a versé l'acide chlorhydrique, l'indigo blanc se précipite en flocons d'un blanc sale; laisse-t-on le flacon à l'air, celui-ci pénètre peu à peu, et l'indigo passe au vert sale, puis au bleu dans sa partie supérieure. Lorsque l'indigo blanc s'est déposé, on jette le tout sur des filtres placés dans un entonnoir dans lequel circule ou de l'hydrogène ou de l'acide carbonique. On lave avec de l'eau bien dépouillée d'air et complétement refroidie. On dessèche l'indigo dans le vide d'une machine pneumatique; après la dessiccation complète, on remplit l'appareil d'acide carbonique.

Préparé comme nous venons de le dire, l'indigo blanc est une poudre solide, cristalline, fibreuse, soyeuse, plus dense que l'eau, inodore et sans saveur; insoluble dans l'eau, il est soluble dans l'alcool et dans l'éther qu'il colore en jaune : il ne s'unit pas avec les acides faibles. Les alcalis, c'est-à-dire la potasse, la soude, l'ammoniaque, la chaux, la baryte, la strontiane, la magnésie forment des dissolutions qui, saturées d'indigo blanc, sont complétement solubles. Mais si l'on ajoute, au contraire, un excès de chaux, il se

forme un sel insoluble ; par double décomposition, on forme des indigotures insolubles avec les sels qui contiennent de l'alumine, du protoxyde de fer, de l'étain, du plomb, du cobalt et du manganèse. Ces composés, généralement blancs, bleuissent à l'air. L'indigoture d'étain seul donne de l'indigo par sublimation. Le sulfate de protoxyde de fer qu'on verse avec précaution dans une dissolution d'indigo blanc, produit un dépôt noir qui devient bleu par un excès de sulfate. L'indigo blanc, soumis à la chaleur, devient bientôt d'un pourpre foncé. Chauffé dans le vide, il se décompose sans développer de gaz ; il se produit de l'eau, de l'indigo bleu et du charbon.

Les acides concentrés l'attaquent promptement. L'acide sulfurique fumant le dissout instantanément, la dissolution est pourpre ; l'acide nitrique la fait virer au bleu ; l'acide nitrique concentré altère l'indigo blanc qui bleuit rapidement. Au reste, l'indigo blanc devient instantanément bleu dans l'eau aérée ; il se fait de l'*indigotéine* par une absorption d'oxygène, d'autant plus rapide que la masse est plus divisée.

Indigotéine. — L'indigo bleu, suffisamment pur pour la plupart des recherches, se prépare en pulvérisant l'indigo du commerce pour le laver successivement à l'eau bouillante, à l'alcool bouillant, à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique également bouillante. Le résidu est presque à l'état de pureté. L'indigo bleu tout à fait pur s'obtient ou par voie humide ou par sublimation. Dans le premier cas on part de l'indigo blanc qu'on transforme par l'oxydation à l'air libre en indigo bleu. L'indigo régénéré, bien lavé et séché, est épuisé par l'alcool qui le débarrasse du rouge d'indigo, et par le sulfure de carbone qui le dépouille du soufre libre provenant du sulfure de calcium qui l'accompagne presque toujours. En effet, la réaction des matières organiques sur le sulfate de chaux forme du sulfure de calcium que l'acide chlorhydrique décompose avec dépôt de soufre.

Lorsqu'on soumet à l'action d'une douce chaleur, sous une épaisseur peu considérable, de l'indigo brut concassé, on remarque à la surface de la couche un lacis de cristaux, qu'on enlève pour les soumettre à un triage attentif. Ces cristaux d'un bleu pourpre constituent l'indigotéine pure. M. Kopp a proposé la fabrication industrielle de l'indigo bleu par voie de sublimation en se servant, pour éviter l'altération du produit, d'un courant de vapeur d'eau surchauffée. Nous nous sommes étendu longuement sur ce sujet en parlant de son application à l'étude de l'alizarine.

A l'état de pureté, l'indigotéine est volatile, elle présente de magnifiques vapeurs pourpres, lorsqu'on la projette en petits grains sur une plaque métallique convenablement chauffée. Lorsqu'on distille en vase clos, une partie se sublime sans altération, l'autre se décompose en produisant de l'eau, du carbonate d'ammoniaque, de l'huile et des gaz inflammables ; il reste un dépôt de charbon. On décompose la vapeur d'indigo par son passage dans un tube de verre dont la température est supérieure au point de volatilisation de cette matière.

L'air et l'oxygène n'agissent point sur l'indigo bleu, l'eau n'en dissout pas trace ; il est insoluble dans l'éther, et l'alcool n'en dissout que fort peu en se colorant en bleu. Les acides faibles sont sans action sur lui ; toutefois, les acides qui peuvent céder facilement l'oxygène l'attaquent rapidement. L'acide nitrique concentré peut l'enflammer par son simple contact ; moins concentré, il donne naissance aux *acides picrique* et *indigotique* ; plus étendu encore, il détermine l'oxydation de l'indigotéine qu'il transforme en *isatine*. L'acide sulfurique concentré dissout l'indigo en prenant une teinte verte ; mais à la fin la liqueur devient d'un beau bleu, sans dégagement d'acide sulfureux. L'acide sulfurique fumant donne un liquide d'un rouge pourpré.

Les alcalis carbonatés ou caustiques agissent comme les acides faibles. L'indigo bleu, délayé dans de la potasse ou de la soude caustique, s'y maintient en suspension et ne se sépare que très difficilement par le repos ou la filtration.

Le chlore exerce sur l'indigo bleu des actions variées suivant les conditions de l'expérience ; à l'état sec, le chlore et l'indigo ne réagissent pas l'un sur l'autre, ni à une température basse, ni à 100°. Mais vient-on à délayer l'indigo bleu dans l'eau de manière à le réduire en une bouillie dans laquelle on fait passer un courant de chlore, la couleur bleue de l'indigo disparaît, de l'acide chlorhydrique se dissout, et le liquide contient des produits chlorés dérivés de l'isatine. Le brome, en réagissant sur l'indigo, conduit à des produits en tout semblables aux précédents. Sous l'influence des corps réducteurs, la potasse et le glucose, il y a décoloration.

Il est curieux de voir cette décoloration se produire dans des circonstances tout opposées. M. Wurtz, de Washington, a démontré, vers 1858, que les dissolutions de peroxyde de fer peuvent décolorer l'indigo ; M. Kuhlmann a présenté la même observation. Les sels de fer sont ramenés au minimum. On pourrait tirer parti de ce fait en se servant des sels de peroxyde de fer comme rongeant de l'indigo.

Si nous cherchons à représenter par des formules la composition de l'indigo bleu et celle de l'indigo blanc, nous voyons qu'elles ne diffèrent l'une de l'autre que par un équivalent d'hydrogène. L'indigo bleu a pour formule $C^{16}\ H^{5}\ Az\ O^{2}$, et l'indigo blanc $C^{16}\ H^{6}\ Az\ O^{2}$. Voyons s'il est possible d'expliquer simplement la transmutation de ces deux corps l'un dans l'autre.

Ajoute-t-on à l'indigo bleu l'hydrogène qui lui manque, on le transforme en indigo blanc, qu'on peut représenter par les deux formules (1) et (2)

$$C^{16}\ H^{5}\ Az\ O^{2} + H = \begin{cases} (1)\ C^{16}\ H^{6}\ Az\ O^{2} \\ \text{ou} \\ (2)\ C^{16}\ H^{5}\ Az\ O, HO. \end{cases}$$

Quant à l'indigo blanc, vient-on à le mettre en contact avec l'oxygène, il se forme un oxyde supérieur avec élimination d'un équivalent d'eau,

$$(4)\ C^{16}\ H^{6}\ Az\ O^{2} + O = C^{16}\ H^{5}\ Az\ O^{2} + HO.$$
$$(3)\ C^{16}\ H^{5}\ Az\ O, HO + O = C^{16}\ H^{5}\ Az\ O^{2} + HO.$$

Les conditions de l'expérience sont ainsi facilement expliquées. Les équations (3) et (4) rendent compte de la transformation au contact de l'air de l'indigo blanc en indigo bleu, quelle que soit la formule par laquelle on représente l'indigo blanc.

Lorsqu'il y a réduction, on explique avec autant de facilité la formation de l'indigo bleu.

20 gram. de sulfate de protoxyde de fer, auxquels on ajoute 10 gram. d'indigo bleu, sont précipités par 40 gr. de chaux ; il se forme de l'oxyde de fer qui passe de l'état de peroxyde aux dépens de l'eau ; il en résulte de l'hydrogène qui se porte sur l'indigo bleu directement, ou qui, enlevant une molécule d'oxygène, fixe un équivalent d'eau.

$$(5)\ C^{16}\ H^{5}\ Az\ O^{2} + H = C^{16}\ H^{6}\ Az\ O^{2}$$
$$(6)\ C^{16}\ H^{5}\ Az\ O^{2} + H = C^{16}\ H^{5}\ Az\ O, HO.$$

Ces interprétations sont donc d'accord avec la théorie et la pratique des ateliers. Nous aurons plus tard à les revoir en parlant de la teinture proprement dite.

24. CARMIN D'INDIGO *(acide sulfo-indigotique)*.

L'indigo rendu soluble par les moyens que nous venons de passer en revue n'est pas la seule matière colorante dérivée de l'indigo bleu. Nous avons vu que l'acide sulfurique jouit de la propriété de dissoudre cette matière ; on a fait usage de cette nouvelle dissolution.

Quand on traite une partie d'indigo desséché dans une étuve à 100 degrés par 15 à 20 parties d'acide sulfurique et qu'on élève la température à 50 ou 60 degrés, l'indigo se dissout sans dégagement d'acide sulfureux, passe au jaune, puis au vert, pour revenir à sa nuance primitive, le bleu foncé. Il reste en dissolution des matières particulières : un acide sulfo-indigotique d'après M. Chevreul, sulfindylique suivant M. Dumas, et l'excès d'acide sulfurique que souille encore un acide complexe sulfuré que Berzélius a nommé hyposulfo-indigotique. Pour débarrasser l'acide sulfo-indigotique de toutes ces matières et de celles qui proviennent de l'indigo du commerce, on l'étend d'eau, puis on filtre pour éloigner tout ce qui n'est pas soluble. En ajoutant de la potasse on forme des sels potassiques, et comme le sulfo-indigotate de potasse ne se dissout pas en présence du sulfate de même base, il se précipite dans la liqueur qui ne renferme plus que du sulfate et de l'hyposulfo-indigotate ; on le lave avec un peu d'eau lorsqu'on l'a jeté sur un filtre ; ou le lave ensuite avec de l'acétate qui enlève le sulfate de potasse et qu'on éloigne à son tour par un lavage à l'alcool. Ce qui reste sur le filtre est le *carmin d'indigo* qu'on vend dans le commerce à l'usage des teinturiers sous le nom d'indigo soluble. Pour diminuer les frais de fabrication, on remplace la potasse par la soude ; on évite d'ailleurs les lavages, parce que le sulfate de soude qui cristallise à la surface du sulfindigotate peut être facilement enlevé mécaniquement quand l'efflorescence s'est produite.

Lorsqu'on n'emploie, pour traiter l'indigo, que cinq parties d'acide sulfurique pour une d'indigo, la dissolution s'opère encore sans dégagement d'acide sulfureux pourvu qu'on n'élève pas trop la température ; mais la liqueur, au lieu d'être bleue, reste pourpre et précipite quand on vient à la traiter par l'eau ; le volume du précipité varie avec les circonstances de l'expérience, savoir : la température de la réaction, la concentration de l'acide, etc.

Lorsqu'on fait usage de l'acide des chambres et que l'on ajoute l'eau dans la dissolution acide, aussitôt que le dépôt a disparu ou qu'on fait bouillir cette dissolution étendue, on obtient un précipité très-abondant que M. Walter Crum a nommé *phénicine*, et que M. Berzélius a nommé *pourpre d'indigo*. Nous le nommerons, avec M. Chevreul, acide sulfopurpurique.

Le sulfate d'indigo qu'on emploie dans la teinture est-il plus avantageux sous forme d'acide sulfo-indigotique, ou sous forme d'acide sulfopurpurique ; un mélange de ces deux composés présente-t-il les plus grands avantages ? Si cette question était tranchée dans un sens ou dans l'autre, rien ne serait plus facile que de diriger la fabrication dans la voie la plus capable de conduire à l'un ou l'autre de ces composés. Quoi qu'il en soit, aujourd'hui le sulfate d'indigo se prépare en fabrique en faisant dissoudre un kilog. d'indigo brut du commerce, finement broyé et pulvérisé par un mélange d'un kilog. d'acide sulfurique de Saxe et un kilog. d'acide sulfurique concentré ordinaire. On abandonne à lui-même le mélange d'acide et d'indigo pendant 48 heures ; puis, pour favoriser la dissolution, on chauffe le mélange au bain-marie jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur, ajoutée dans un vase rempli d'eau, s'y dissolve en colorant fortement la liqueur sans produire de précipité. Cette dissolution refroidie contient du pourpre d'indigo mêlé d'acide sulfo-indigotique, si le contact de l'acide sulfurique ou a développé. On l'étend d'eau tant que le mélange ne marque pas 18 degrés Baumé. Le tour de main de cette préparation consiste à s'opposer à l'élévation de température qui détruirait une partie de la matière colorante. Quand on veut préparer du pourpre d'indigo, le mieux est de séparer par un alcali tout ce qui peut s'y dissoudre ; pour préparer le carmin d'indigo, cette précaution devient inutile, car par la filtration le sulfo-indigotate de potasse est débarrassé des matières insolubles, et par l'acétate de soude on éloigne les substances étrangères solubles.

Le carmin d'indigo se dissout très-facilement dans l'eau pure ; quand à cette dissolution on ajoute une dissolution saline à base de potasse, de soude, de baryte, de strontiane, de chaux, de plomb, d'argent ou de mercure, elle se trouble et le sel se dépose quelquefois après avoir éprouvé la double décomposition. Les sels à base d'ammoniaque, de manganèse, de zinc, de cuivre, d'alumine, de protoxyde et de peroxyde de fer ne précipitent pas.

Les sulfo-indigotates se décolorent par la potasse et reprennent la couleur bleue qui leur est propre quand on les sature par un acide, pourvu, toutefois, qu'ils n'aient pas été portés à la température de l'ébullition ; l'acide bleu se trouve détruit dans ces circonstances.

Le bleu, précipité de la sorte, prend le nom de *distillée*. Il se trouve plus pur et se vend plus cher.

Les bleus qu'on obtient en teinture par la dissolution de l'indigo dans l'acide sulfurique sont plus vifs, mais moins solides que ceux qu'on obtient par le bleu de cuve. Il est probable que, dans le traitement par l'acide sulfurique, l'indigo se trouve modifié sinon dans sa nature, au moins dans celle des combinaisons qu'il forme avec les fibres textiles. Ce bleu, connu longtemps sous le nom de bleu de Saxe ou de composition, ne date que de 1740. Découvert par le conseiller Barth à Grossen-Hayn, il fut longtemps tenu secret, mais cependant il se répandit peu à peu. Dans l'origine sa composition était très-compliquée. Il se formait en faisant réagir d'abord l'acide sulfurique sur l'alumine, l'antimoine et d'autres substances minérales ; on n'introduisait d'ailleurs l'indigo qu'après la dissolution de ces éléments étrangers.

25. **Bois de Campêche** *(hématine, hématéine)*.

M. Chevreul a déjà depuis longtemps étudié les propriétés de la dissolution des bois de Campêche dont l'emploi date en Europe de la découverte de l'Amérique. Le principe utile de la décoction de cette matière tinctoriale est connu sous le nom d'*hématine*. Nous avons fait connaître comme BOIS DE TEINTURE, dans ce Dictionnaire, les caractères et les usages de cette substance ; nous n'y reviendrons pas, mais nous nous étendrons plus longuement sur les propriétés chimiques de l'hématine pure, qui dans ces derniers temps a figuré parmi les sujets traités par les chimistes les plus distingués.

Hématine. — Le procédé d'extraction de M. Chevreul consiste à traiter le campêche en poudre par l'eau pure ; l'extrait concentré repris par l'alcool est soumis à l'évaporation qui dépose des cristaux, si l'on a pris le soin d'étendre d'un peu d'eau le liquide sirupeux provenant de la concentration de l'alcool.

Le procédé de M. Chevreul a reçu de M. Erdmann une légère modification qui a permis d'obtenir l'hématine avec plus de pureté. M. Erdmann prend l'extrait qu'on trouve dans le commerce, il le pulvérise avec cinq à six fois son poids de sable pour s'opposer à l'agglutination ; il le traite ensuite par six fois son volume d'éther. La dissolution dans l'éther contient l'hématine et quelques matières étrangères ; le liquide décanté, évaporé jusqu'à consistance sirupeuse, est repris par l'eau, qui au bout de quinze jours sépare des cristaux qu'un lavage à l'eau froide suffit pour décolorer. 4 kilog. d'extrait et 5 kilog. d'éther ont fourni 125 gr. d'hématine.

L'hématine pure n'est pas rouge, elle est à peine colorée ; elle se rapprocherait donc de la lécanorine et de l'orcine par sa propriété de se transformer en une matière colorée sous l'influence de l'oxygène et des bases. La couleur des cristaux d'hématine varie du jaune-

paille au jaune de miel, leur poussière est jaune pâle, leur saveur est douce et sucrée. L'hématine est peu soluble dans l'eau froide ; l'eau bouillante en dissout assez pour qu'elle puisse se séparer sous forme de cristaux par le refroidissement. L'hématine se colore fortement sous l'influence de l'air et de l'ammoniaque, à ce point qu'elle est le réactif le plus sensible pour déceler la présence de ce gaz dans de l'air qui n'en contiendrait que des traces. L'hydrogène sulfuré détruit la combinaison colorée. L'hématine ne contient pas d'azote ; elle retient tantôt 8, tantôt 3 équivalents d'eau. A 120° elle a perdu toute l'eau qu'elle peut abandonner sans se décomposer. L'hématine anhydre ou l'hématine hydratée se comporte de la même manière sous l'influence des divers réactifs.

Soluble dans l'éther et dans l'alcool, l'hématine n'est pas détruite par les acides chlorhydrique et sulfurique étendus ; il y a dissolution des cristaux avec coloration rouge de la liqueur ; l'acide nitrique concentré l'attaque même à froid ; il se forme en abondance de l'acide oxalique. Le chlore la détruit, mais l'action n'est pas nette ; il se forme une masse résinoïde brunâtre sans apparence de principe cristallin.

L'eau de baryte donne avec l'hématine un précipité d'un blanc bleuâtre qui se fonce au contact de l'air et passe au bleu foncé, puis au rouge brun ; la potasse colore l'hématine en violet ; à l'air la coloration passe bientôt au rouge pourpre, puis au jaune brun, puis au brun sale. Le produit brun dissous dans la potasse ne forme pas de précipité par les acides.

L'acétate de plomb neutre ou basique donne avec l'hématine un précipité, d'abord parfaitement blanc, mais qui se colore rapidement en bleu par son contact avec l'oxygène de l'air. La couleur finit par devenir tout à fait bleue. Le nitrate d'argent est réduit par l'hématine ; il se dépose de l'argent métallique et la liqueur prend une teinte jaune. L'alun ne donne pas de précipité.

L'action de l'ammoniaque sur l'hématine est intéressante. D'après M. Erdmann, il se forme une nouvelle matière qui joue le rôle des acides et qui se combine avec l'excès d'ammoniaque.

Hématéine.—Lorsqu'après avoir fait dissoudre l'hématéine dans l'ammoniaque liquide, on l'abandonne au contact de l'air, la couleur de la dissolution d'abord rouge se fonce de plus en plus et finit par devenir rouge noire, presque opaque. Tant que la dissolution n'a pas dépassé la teinte pourpre, on n'obtient pas de précipité par la saturation de l'ammoniaque au moyen de l'acide acétique ; mais ce précipité apparaît lorsque la couleur est devenue noire, c'est l'hématéine qui se précipite sous forme d'un dépôt ocreux rappelant la couleur de l'oxyde de fer hydraté. Dès que ce caractère se manifeste, il faut ne renouveler qu'avec précaution l'ammoniaque qui disparaît ; par l'évaporation spontanée, le vase se couvre de cristaux grenus, violets, très-colorés, solubles dans l'eau qu'ils colorent en pourpre, c'est de l'hématéinate d'ammoniaque ; les acides précipitent de l'hématéine, elle n'est pas azotée. Elle est d'une couleur ocreuse, mais par la dessiccation elle devient dichroïte et réfléchissant les couleurs des cantharides. En couche mince, elle laisse passer une lumière rouge ; l'hématéine est peu soluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau chaude qui la dépose par refroidissement sous forme de cristaux paillatés.

L'hydrogène sulfuré ne ramène pas l'hématéine à l'état d'hématine ; il n'agit que comme acide, la dissolution dépose par la concentration de l'hématéine inaltérée.

On peut se rendre compte de ces diverses réactions en représentant la composition de l'hématine par la formule

$$C^{16}H^{8}O^{7} = C^{16}H^{7}O^{6}, HO.$$

Sous l'influence de l'oxygène, il y aurait un équivalent d'hydrogène enlevé à l'état d'eau. On aurait, comme pour l'oxydation de l'indigo :

$$C^{16}H^{8}O^{7} + O = C^{16}H^{6}O^{6}, 2 (HO).$$

Au reste, la question est encore assez obscure pour qu'on n'ose proposer une formule qu'avec la plus grande réserve.

26. Fleurs de mauve noire (*malvéine.*).

On a fait emploi pendant l'année dernière, en Turquie, de 14,000 quintaux de fleurs de mauve noire desséchées ; on ignorait l'usage auquel ce produit était destiné ; personne n'osait affirmer que les teinturiers s'en servissent, car on n'avait pas encore pu fixer sur laine, sur coton, sur soie, la matière colorante que contient la mauve.

M. E. Kopp a repris l'étude de cette substance, qu'une culture sur une grande échelle a fait classer parmi les matières premières de prix abordable. Leur valeur, qui était, en effet, de 424 francs, ne dépasse pas actuellement 50 francs les 100 kilogrammes.

Pour extraire le principe colorant contenu dans les mauves, on traite les fleurs par l'eau bouillante après avoir séparé la base des pétales, qui ne contient aucune matière utile et introduirait dans le bain une trop grande quantité de principes mucilagineux. L'infusion faite dans l'eau distillée et filtrée sur une chausse se présente sous forme d'un liquide d'une couleur rouge violacée un peu gluant si la dissolution est concentrée. Les acides le font virer au rouge cramoisi, l'addition d'un alcali ramène la couleur au violet, puis au bleu légèrement verdâtre ; l'addition des alcalis à l'infusion la fait de suite passer au vert.

L'infusion aqueuse précipite en vert par l'eau de chaux ; les sels d'alumine basique donnent à la longue un précipité d'un bleu pur ; l'acétate de plomb décolore complétement la liqueur : il se fait un précipité bleu très-volumineux ; le sulfate de cuivre donne un dépôt d'un très-beau bleu. Avec les sels de mercure, ou a des précipités bleus ; les sels d'étain se comportent de même ; le sulfate de fer donne un dépôt bleu violacé d'une assez belle nuance ; le perchlorure de fer précipite en brun, il y a destruction de la matière ; de semblables phénomènes se produisent avec les chlorures décolorants, l'acide chromique et le bichromate de potasse.

La matière colorante de la mauve noire appartient donc à la classe des matières végétales, caractérisées par la propriété d'être rougies par les acides et verdies par les alcalis ; ces matières se rencontrent assez fréquemment dans la nature, comme, par exemple, dans les dahlias violets, les feuilles de choux rouge, la violette, etc.

On peut donner à ce principe le nom de *malvéine*. La dissolution aqueuse l'abandonne sous forme d'extrait.

Malvéine.—La matière colorante de la mauve est très-soluble dans l'alcool ; elle se dissout également, mais moins facilement, dans l'éther ; ces teintures présentent une nuance pourpre très-riche.

Elle se dissout sans altération dans l'acide sulfurique concentré, même chauffé jusqu'à 60 ou 80 degrés centigrades ; la dissolution possède une couleur pourpre très-belle et très-pure. On peut tirer parti de cette circonstance pour préparer directement avec les fleurs de mauve une solution sulfurique. A cet effet, on humecte les pétales secs avec un peu d'acide sulfurique concentré ; en broyant le tout dans un mortier en porcelaine légèrement chauffé, on obtient une pâte homogène, rouge brun, assez épaisse ; on l'abandonne plusieurs heures avant de la traiter par l'eau bouillante, on filtre ; la dissolution limpide est d'un beau rouge

pourpre très-foncé. Il reste sur le filtre une matière ligneuse on pectineuse à demi carbonisée, qui ne retient qu'une petite quantité du principe colorant.

L'extrait alcoolique, plus pur que l'extrait aqueux, permet de séparer plus facilement la malvéine du mélange. Cette teinture, évaporée doucement au bain-marie, laisse un résidu d'apparence résineuse; ce résidu, en contact avec l'eau, s'y dissout presque complétement, à l'exception d'une très-petite quantité de matière grasse ou résineuse; il a été impossible, jusqu'à présent, d'obtenir la matière colorante à l'état de pureté ou avec des caractères de pureté suffisants pour en faire l'analyse; la teinture éthérée donne par l'évaporation spontanée des grumeaux à apparence cristalline, mais à la loupe on n'y retrouve pas de structure régulière.

Soumise à la distillation sèche, la matière colorante se carbonise sans donner de sublimé cristallin; il se forme une huile épaisse empyreumatique, à réaction acide; l'absence d'ammoniaque entorise à penser qu'elle ne contient pas d'azote.

Lorsqu'on reprend par l'eau le résidu de l'évaporation de la liqueur alcoolique, on obtient avec les réactifs des résultats différents de ceux fournis avec la liqueur aqueuse préparée directement avec les fleurs de mauve.

Ainsi elle ne donne de précipité ni par les sels d'alumine ni par le bichlorure d'étain; les premiers la colorent seulement en beau bleu violacé, et le second en rouge pourpre; avec le sulfate de protoxyde de fer et le protochlorure d'étain, les précipités sont beaucoup moins abondants et la liqueur reste fortement colorée. La solution ne précipite ni par le tanin ni par la gélatine.

La nature des préparations qu'on a fait subir aux fibres modifie la nuance que l'on peut obtenir en teinture avec les solutions aqueuses de fleurs de mauve.

On obtient : sur coton, avec le sel de fer fort, une couleur noire; avec le sel de fer faible, une coloration bleu noirâtre; avec les sels d'alumine, une couleur bleue violacée; avec les sels d'étain, un violet bleuâtre;

Sur laine, avec l'oxychlorure d'étain, un violet assez foncé; avec les sels de fer, un noir bleuâtre ou du bleu grisâtre; avec les sels d'alumine, un bleu grisâtre ou violacé; avec les sels d'antimoine, un violet brunâtre;

Sur soie, avec les sels d'étain, une nuance violette assez belle.

27. Vert des feuilles (*chlorophylle*).

On n'a pas fait encore usage comme matière colorante du principe vert des feuilles qu'on trouve dans presque toutes les plantes et qu'on a désigné sous le nom de chlorophylle.

Cette substance douée de propriétés toutes spéciales avait été considérée pendant longtemps comme un principe immédiat *sui generis;* on lui avait reconnu des caractères spéciaux et la propriété remarquable de se décolorer sous l'influence de l'hydrogène à l'état naissant. M. Sachs avait observé que l'oxygène, sans le concours de la lumière, pouvait faire renaître la coloration verte. Ses propriétés chimiques ont été reconnues par Pelletier, Berzélius, Mulder et M. Morot. M. Verdeil, dans un travail récent, assimilait la matière verte des feuilles au principe colorant du sang; il admettait qu'elle contient du fer.

M. Frémy, dans des recherches remarquables, a fait voir que la chlorophylle n'est pas un principe immédiat simple, mais qu'elle résulte du mélange ou de la combinaison de deux corps, l'un bleu, l'autre jaune.

La chlorophylle n'est que l'extrait brut de feuille par l'alcool. Nous donnerons ici l'exposé du travail de M. Frémy, parce que les données qu'il renferme rentrent dans l'étude des phénomènes que nous examinons en ce moment.

Pour rechercher si la matière colorante des feuilles est composée de deux principes différemment colorés, M. Frémy l'a mise en contact avec une substance dont l'affinité pour les matières colorantes peut être modifiée comme on le veut, c'est l'alumine hydratée. On augmente ou diminue l'affinité de cet oxyde par des additions d'eau ou d'alcool absolu.

Or, comme la matière jaune des feuilles paraît avoir moins d'affinité pour l'alumine que n'en a l'autre substance colorée, lorsque la substance est très-alcoolique on obtient une laque d'un vert foncé, tandis que l'alcool retient en dissolution une substance d'un beau jaune; quand, au contraire, la dissolution est étendue d'une grande quantité d'eau, toute la matière colorante se combine à l'alumine qui fournit alors une laque analogue à la couleur verte des feuilles.

En agissant sur cette laque avec des agents d'une faible énergie chimique, ou la décompose; et parmi ces agents, les uns agissent sur le principe jaune, les autres sur la principe bleu. Le sulfure de carbone porte son action sur le principe jaune. Son contact fonce donc la laque en la rendant plus verte; l'éther, l'alcool, l'essence de térébenthine isolent la matière verte avec sa coloration primitive. Quelques agents réducteurs modifient la chlorophylle et la transforment en une substance d'un jaune magnifique, très-soluble dans l'alcool et l'éther. Les acides faibles et surtout l'acide chlorhydrique reconstituent dans la dissolution alcoolique une matière colorante verte.

Lorsqu'on traite par un mélange de deux parties d'éther et une partie d'acide chlorhydrique étendu d'une petite quantité d'eau le corps qui provient de l'altération de la chlorophylle, on obtient, en agitant le flacon qui contient le mélange, une dissolution éthérée qui s'empare du principe jaune et un liquide acide qui reproduit une substance d'un bleu magnifique. Pour reconstituer le vert, il suffit d'ajouter de l'alcool en quantité suffisante pour redissoudre les deux matières isolées.

M. Frémy appelle *phylloxanthine* la matière jaune des feuilles et *phyllocyanine* la matière bleue; la phylloxanthine est beaucoup plus stable que la matière bleue.

Des études analogues appliquées aux autres couleurs de la nature végétale conduiront peut-être à la découverte de principes nouveaux dont l'industrie saura tirer parti. C'est dans ce but que nous avons présenté l'extrait que nous venons de lire et qui présente sous un jour nouveau les questions que la chimie moderne doit prochainement élucider.

28. Vert du chardon (*cinaréine*).

M. Verdeil a fait connaître de la manière suivante une matière colorante nouvelle susceptible de fournir comme le lo-kao du vert sans mélange. Si l'on fait bouillir dans l'eau la partie charnue des capitules des fleurs non encore développées du chardon ou de l'artichaut (*cinara scolymus*), on obtient un liquide incolore qu'on sépare par expression; l'addition du carbonate de soude développe dans ce suc, sous l'influence de l'air, une couleur vert-jaune que l'addition de l'acide acétique fait virer au vert-bleu. L'acétate de plomb forme dans cette liqueur verte un précipité vert; ce précipité est décomposé par l'acide sulfurique étendu dans beaucoup d'alcool à 40°. La dissolution alcoolique se colore en jaune-brun; le plomb se trouve éliminé à l'état de sulfate, et la matière colorée est alors précipitée par une addition d'éther qui retient les corps gras et astringents.

Le précipité recueilli sur un filtre et lavé encore à l'éther, puis à l'eau, constitue la matière colorante libre et à l'état de pureté. C'est un principe hydrogéné

et azoté, insoluble dans l'eau et les acides; il se dissout dans les alcalis qu'il colore en vert: l'alun et le perchlorure d'étain le précipitent de cette dissolution alcaline, en formant des laques d'un vert foncé qui, desséchées, conservent leur nuance et résistent à l'action de la lumière.

Cette matière verte, qu'on pourrait nommer *cinaveine*, est différente, ainsi que l'a fait observer M. Persoz, de celle du nerprun; néanmoins elle pourrait être utilisée si ses qualités à la lumière lui communiquent les avantages qu'on recherche, surtout pour les verts applicables à la teinture des soies.

29. Vert de Chine (*vert de nerprun, lo-kao*).

Nous avons étudié, jusqu'à présent, les substances rouges, violettes et bleues. Il eût été difficile, il y a quelques années, de mentionner une seule couleur directement verte; toutes les nuances, quelque variées qu'elles fussent, étaient préparées dans l'industrie par des mélanges ou des superpositions de couleure transparentes jaunes et bleues.

Des recherches récentes vont nous donner l'occasion de faire connaître une singulière substance, dont la science a constaté la nature et les propriétés, et que l'industrie peut reproduire avec des éléments indigènes. Cette matière, découverte en Chine, a fixé l'attention sur une série de matières tinctoriales des plus convenables pour l'obtention des nuances vertes qui prennent un éclat très-vif, même à la lumière artificielle. Le travail que nous allons analyser réunissant toutes les données scientifiques et tous les documents industriels peut servir de base aux recherches nouvelles qu'il serait convenable de tenter sur d'autres matières analogues, susceptibles de donner des nuances plus ou moins vertes. Nous commencerons par présenter une courte notice historique sur le lo kao, ou vert de Chine; nous la ferons suivre de l'exposé des caractères chimiques de la matière telle qu'on la connaît.

Les renseignements qui suivent sont extraits de la notice remarquable publiée sur ce sujet par la chambre de commerce de Lyon, et qui contient à la fois les observations dues à MM. N. Rondot, Persoz et Michel.

Lors de la distribution aux diverses chambres de commerce des produits apportés de Chine par les délégués français, la société de Mulhouse reçut, entre autres produits, divers tissus écrus, blanchis et teints. Un de ces tissus, teint en vert, qui présentait cette particularité, qu'il avait un envers d'un vert jaunâtre et un endroit d'un vert bleuté plus foncé, appela l'attention de M. Daniel Koechlin-Schnue, qui le signala comme teint par un vert particulier jusqu'alors inconnu; il insista pour que des renseignements fussent recueillis sur cette fabrication chinoise.

Le document le plus complet fut fourni par un savant missionnaire, le R. P. Hélot, qui a étudié sur place la méthode employée pour obtenir cette teinture. Voici le résumé de ce procédé, tel qu'il est présenté dans la notice sur le vert de Chine, et la teinture en vert chez les Chinois, par M. Natalis Rondot, p. 70:

« L'écorce fraîche du *hong-pi lo-chu*, d'abord bouillie, reste infusée pendant deux jours; l'infusion de l'écorce sèche dure dix jours. » (D'après ce renseignement, la matière serait dans la plante à l'état soluble et non coloré). « On opère avec deux bains séparés, on ajoute de l'eau de chaux à l'un et à l'autre. On plonge les toiles sept à dix fois dans le bain de *hong-pi*, ensuite trois fois dans celui de pi-pi; on fait sécher après chaque immersion. On étend les toiles à la tombée de la nuit; mais l'action du soleil est indispensable, la toile n'est teinte que du côté qui a été exposé au soleil. »

Telle est la communication qui devint le point de départ de M. Michel, de Lyon, pour ses recherches sur les matières colorantes des nerpruns indigènes. Les plantes employées par les Chinois, et que M. Decaisne a reconnues comme appartenant à la famille des nerpruns (*rhamnus utilis* et *rhamnus chlorophorus*), n'existent pas en France. M. Michel a dû faire ses premiers essais sur des nerpruns indigènes, se rapprochant, autant que possible, des indications du R. P. Hélot.

Les expériences ont été faites sur des toiles de coton de 50 cent. de long, sur 33 cent. de large, bien nettoyées de tout apprêt. Les bains ont été préparés dans des casseroles de fer émaillé. Les toiles ont été plongées dans le bain, pendant un quart d'heure; elles ont ensuite été étendues sur le pré; le lendemain, elles ont été relevées, elles étaient sèches. Nous pouvons suivre le détail et le progrès des opérations au point de vue de la teinture; ces étoffes, au sortir du bain, étaient à peine colorées en jaune roux très-faible; dès la pointe du jour, elles acquirent une coloration très-apparente à la surface supérieure.

Plusieurs espèces de nerpruns ont été mises en essais.

L'alaterne a donné des nuances gris fauve d'autant plus brunes que la densité du bain était plus grande et les opérations plus multipliées. La bourdaine a présenté les mêmes résultats, seulement le jaune dominait. Le nerprun purgatif a produit, le premier jour, une couleur claire d'un vert assez prononcé; le deuxième jour, la nuance a tourné au gris; le troisième, au gris-violet, qui, à mesure que les opérations se multipliaient, a pris de l'intensité. Cette nuance violacée a été ramenée subitement au vert par une dissolution faible et bouillante d'alun.

Ces expériences ont prouvé qu'on peut obtenir des nerpruns un principe coloré qui y existe à l'état incolore, et si nous les rapprochons de ce que nous savons des missionnaires, elles semblent concluantes en raison de la déclaration formelle du R. P. Hélot, qui affirme que la lumière est indispensable à la production de la couleur verte; la synthèse est donc sous ce rapport venue confirmer ce que l'observation et les traditions avaient enseigné.

En ce qui concerne l'influence de la lumière sur la coloration verte extraite des nerpruns, M. Michel, dans le but de lever tous les doutes, a fait des expériences qui me paraissent irréfutables.

1° En immergeant dans un bain de nerprun deux coupons de la même étoffe, si l'un seulement est exposé sur le pré, comme on l'a dit, tandis que l'autre est soumis pendant le même temps à l'action de l'air d'une cave très-obscure, le coupon qui a reçu la lumière se trouve coloré lorsque l'autre n'a pas éprouvé la moindre modification.

2° La même épreuve, répétée dans des vases, l'un opaque, l'autre transparent, renfermant chacun un coupon trempé dans le bain de nerprun, a conduit au même résultat.

En Chine, il paraît qu'on emploie simultanément le rhamnus chlorophorus et le rhamnus utilis, le premier pour donner à la couleur de l'éclat et du brillant, le second pour ajouter à la vigueur de la couleur. La préparation de la matière colorante qu'on a voulu rapprocher des procédés suivis pour la fabrication de l'indigo brut, s'exécute au moyen de toile grossière à surfaces rudes, sur lesquelles la couleur se dépose en quelque sorte mécaniquement, et qu'on en détache par des frictions répétées. Nous aurons occasion, plus tard, de revenir sur les procédés de teinture proprement dite; nous ne nous occupons ici que de la préparation du *lo-kao* supposé pur; des teintures successives ont surchargé de ce principe les toiles dont nous avons parlé. On augmente la richesse de la décoction par des additions d'alun ou de carbonate de soude, avant d'y plonger les toiles de coton. Ces dernières étant surchargées de couleur par 15 à 20 immersions, suivies d'autant

d'expositions à l'air et au soleil, sont plongées dans de l'eau froide, puis agitées très-vigoureusement.

L'excès de couleur se détache et nage dans les eaux de lavage qu'on réunit dans une chaudière. On étend un lit de fils de coton à la surface de l'eau, puis on chauffe. Durant l'ébullition, la matière colorante, qui est en suspension, se dépose sur les fils de coton. On continue en mettant dans la chaudière de nouvelles eaux de lavage, jusqu'à ce que les fils soient suffisamment chargés de couleur.

Les fils sont alors lavés dans de l'eau claire et froide en les frottant dans les mains; le lo-kao se détache et se précipite. Le précipité, recueilli d'une manière quelconque, après avoir été bien lavé, se présente sous forme de pâte très-fine; on l'étend sur une feuille de papier fin, qui repose sur de la cendre; on le fait sécher d'abord à l'ombre, ensuite au soleil.

La couche de lo-kao ou du vert de Chine proprement dit se détache du papier, se bossue en séchant, et se brise en petites lames irrégulières, minces, légères, dures, d'une couleur bleue, avec reflets violacés et parfois verdâtres. Sa cassure récente est tantôt d'un vert sale, grisâtre, tantôt d'un bleu foncé ou violacé. Ces divers tons ou reflets se manifestent parfois sur une même lame, qui, malgré cela, lorsqu'on le frotte sur du papier, se colore toujours en un beau vert d'eau, d'une nuance turquoise fort agréable; il faut généralement un lit de fils de coton du poids de 3,620 grammes pour épuiser les eaux de lavage de 300 pièces de toile; on en extrait, d'après le R. M. Edkins, 283 grammes de lo-kao, dans l'état que nous allons indiquer plus bas; chaque kilogramme du vert de Chine représente donc 1,060 pièces de toile teinte; chaque pièce est longue d'environ 6,3 mètres sur 36 centimètres de largeur.

M. Guinon, de Lyon, parvint à s'en procurer une certaine quantité; c'est ainsi qu'il a pu teindre les beaux verts sur soie qui figurèrent pour la première fois à l'Exposition universelle de Paris.

Lo kao. — Le *lo-kao* ou vert de Chine du commerce, dont le prix a varié, pour ces dernières années, de 250 à 500 fr. le kilogramme, n'est point une matière homogène, car, en l'incinérant, on en retire des quantités de cendres variant de 21,5 à 33 pour 100.

L'analyse de cendres de lo-kao, reçues en Hollande, a donné à M. Bleekrode jusqu'à 52 pour 100 d'argile, 31 pour 100 de chaux, et 12,5 de phosphate de chaux, et 4 d'oxyde de fer.

Le lo-kao est insoluble dans les huiles essentielles, les alcools, les éthers, le sulfure de carbone. En contact avec l'eau pure, il s'y gonfle généralement, se délaye dans 25 à 30 fois son poids de ce liquide, mais sans jamais s'y dissoudre complétement. Dans les cas les plus favorables, il reste toujours 30 pour 100 de la matière primitive sur le filtre.

Les recherches de M. Persoz ont démontré dans ce vert la présence d'un principe bleu, la *cyanine*, et un principe jaune que nous reconnaîtrons ailleurs. Le mélange de ces deux nuances constitue le *lo-kao*.

Les solutions aqueuses concentrées se conservent très-bien; mais, étendues d'eau, elles ne tardent pas à se troubler; par ce moyen, on les purifie d'une grande partie des substances étrangères auxquelles est mélangée la matière colorante utile. Les carbonates, phosphates et borates alcalins se comportent exactement comme l'eau pure. Une solution aqueuse de lo-kao peut subir quelquefois en vases clos une espèce de fermentation; elle se trouble et forme un dépôt d'abord violacé, puis rouge sanguin, très-soluble dans l'acétate de chaux.

Les acides faibles, non oxydants et non réducteurs, et surtout l'acide acétique, facilitent la dissolution du lo-kao. Mais s'ils sont énergiques, si leur contact est prolongé, et surtout si l'on porte la liqueur à l'ébullition, ils peuvent altérer profondément la matière colorante. Avec l'acide chlorhydrique, le lo-kao se coagule, et la partie caillée délayée dans l'eau forme un précipité gris de fer foncé.

Ce précipité, saturé par l'ammoniaque, ne régénère plus du vert, mais du bleu.

Traité par le sulfhydrate d'ammoniaque, il développe une belle couleur pourpre, et, par le protochlorure d'étain, un rouge saumon; il se dissout complétement dans une eau de savon bouillante, en affectant une couleur verte, que le sulfhydrate d'ammoniaque change en une belle teinte pourprée; le chlorure d'étain employé en proportion convenable précipite une laque d'un rose intense.

Les acides réducteurs, les uns à froid, les autres à chaud, réduisent la solution du lo-kao et y déterminent la formation d'un précipité pourpre violacé.

L'hydrogène sulfuré ne réduit le lo-kao que passagèrement, en donnant à sa solution une couleur particulière et rouge de sang foncé facilement altérable. Une étude particulière de cette combinaison aurait de l'intérêt; elle se décompose à l'air; l'hydrogène se brûle, le soufre se dépose et la liqueur finit par reprendre sa couleur verte primitive.

Les acides oxydants comme l'acide nitrique, l'acide chlorique, l'acide chromique, détruisent le lo-kao; par une oxydation ménagée, on peut obtenir une couleur rose tendre.

Les alcalis caustiques favorisent en premier abord la dissolution du lo-kao; mais, par un contact prolongé ou par l'ébullition, ils détruisent la couleur, qui passe subitement au brun, en formant une nouvelle matière colorante qu'on ne peut plus ramener au vert, mais qui se fixe parfaitement sur calicot, surtout avec le concours de l'alumine et de l'oxyde d'étain.

Les sulfures alcalins fixes agissent de la même manière; mais le sulfhydrate d'ammoniaque réduit et dissout le vert de Chine sans le détruire. En imprégnant du coton de cette solution et l'exposant à l'air, le lo-kao se réoxyde et se fixe sur la toile. Le lo-kao gonflé par l'eau se dissout à chaud, en très-forte proportion, dans une solution de phosphate et de borate alcalins; les bains colorés, ainsi formés, teignent directement en vert les tissus de coton.

L'ammoniaque liquide, le carbonate d'ammoniaque, les acétates alcalins sont également d'excellents dissolvants, mais le meilleur est le savon.

Si l'on délaye du lo-kao gonflé dans un bain chaud, tenant en solution 5 à 6 millièmes de savon blanc et qu'on y plonge du calicot blanc, on le retire teint en un vert d'eau des plus purs. Ces caractères établissent de grandes différences entre cette matière et l'indigo, dont on était tenté de le rapprocher à d'autres égards.

Les chlorures de zinc et de magnésie font virer la teinte verdâtre du lo-kao au bleu pur. Le chlorure d'étain, tout en dissolvant le vert de Chine, fait passer la couleur au rouge sanguin. Cette dissolution, qu'on peut employer avec succès à la teinture de la soie, n'a besoin que d'être saturée par une base puissante ou par un acétate alcalin, pour que, après une exposition à l'air, le vert se trouve régénéré.

Le perchlorure d'étain agit à la manière des acides. Le lo-kao forme des laques à base d'alumine, d'étain et de chaux, dont on peut tirer parti pour l'impression des tissus.

La principale application du lo-kao est la teinture des soies pures. Elle est due à la beauté et à l'intensité extraordinaires que cette couleur acquiert à la lumière artificielle. Ce magnifique éclat à la lumière, que les uns attribuent à l'homogénéité de la couleur, les autres à la pureté de nuance du bleu et du jaune qui forment ce vert, donne au lo-kao une incontestable supériorité

sur toutes les autres teintures vertes connues et lui a valu le nom de *vert de lumière*.

Nous donnerons plus loin la méthode qu'on suit pour opérer la teinture qu'il serait logique de re garder comme une teinture mécanique.

30. Quercitron (*quercitrine*).

Le quercitron est fourni par une espèce de chêne *quercus nigra* : c'est l'écorce qui produit la matière tinctoriale.

Une décoction de quercitron faite par une ébullition d'un quart d'heure, avec une partie de quercitron et cinq parties d'eau, se trouble et dépose une matière cristalline que M. Chevreul a nommée *quercitrin*. D'après M. Rochleder, les fleurs et les fruits du marronnier d'Inde contiennent le même principe. Les cotylédons coupés en morceaux minces et recouverts d'alcool à 36 degrés, dans un vase fermé, pendant 8 ou 10 jours, donnent une dissolution jaune d'or qui contient de la quercitrine.

Pour l'extraire des fleurs de marronnier, M. Rochleder traite les pétales avec de l'alcool bouillant; il filtre; il se sépare, par refroidissement, des cristaux jaunes qu'il purifie par une nouvelle filtration. Il distille au bain-marie pour recueillir l'alcool; il ajoute de l'eau sur le résidu qui se sépare en deux couches; la plus dense renferme des résines, la plus légère contient la quercitrine. Cette solution rougeâtre donne, avec l'acétate neutre de plomb, un précipité jaune soluble en partie dans l'acide acétique; le résidu insoluble est de la résine. La solution acide est précipitée par l'acétate basique de plomb. Ce précipité contient beaucoup de quercitrine. 84 kilos de fleurs ont donné 30 grammes de quercitrine pure.

M. Rochleder reconnaît cependant que le meilleur procédé pour préparer la quercitrine consiste à l'extraire du quercitron. Il faut, pour obtenir d'assez grandes quantités de cette matière, faire bouillir l'écorce avec de l'eau; on filtre en exprimant la masse dans une toile. La décoction est abandonnée au refroidissement et l'écorce épuisée de nouveau par une même quantité d'eau bouillante. La première dissolution dépose de la quercitrine impure, la seconde en renferme beaucoup moins, on recueille sur un filtre en toile et on laisse égoutter; en ajoutant de l'acide chlorhydrique à la liqueur filtrée, il se précipite des flocons jaunes volumineux qu'on sépare par filtration; on fait chauffer au bain-marie tant que la liqueur dépose de la quercitrine, ou filtre. Pour purifier les divers dépôts successivement obtenus, on triture au bain-marie avec de l'alcool et on filtre; la plupart des impuretés sont enlevées par l'alcool; on fait dissoudre dans l'alcool bouillant, on filtre à chaud, et on précipite la matière colorante par l'eau bouillante qu'on verse aussi longtemps qu'il se fait de trouble dans la liqueur. Après le refroidissement, la plus grande partie de la matière colorante s'est précipitée, on la recueille sur un filtre en toile et on la purifie par un nouveau traitement.

Quercitrine.—La quercitrine cristallise sous forme de petites écailles d'un jaune assez pâle. Il est facile de constater sa réaction acide au moyen du papier de curcuma rougi par la chaux; peu soluble dans l'alcool, dans l'éther, dans l'eau, la solution est d'un jaune pâle; elle ne précipite pas la colle de poisson.

Les dissolutions aqueuses de potasse et d'ammoniaque la font passer au jaune-vert plutôt qu'au jaune-orangé. L'eau de baryte en précipite peu à peu des flocons d'un jaune roux. Une dissolution d'alun y développe graduellement une belle couleur jaune. Mais la réaction est très-lente; les acétates de plomb et le cuivre forment une laque d'un beau jaune; le protochlorure d'étain se comporte de la même manière; le sulfate de peroxyde de fer la fait passer au vert olive; il se produit un précipité qui n'est bien déposé qu'au bout de plusieurs heures.

L'acide sulfurique dissout la quercitrine; la solution d'un orangé verdâtre se trouble par l'eau. L'acide nitrique fait passer la couleur à l'orangé-rouge.

Une dissolution de quercitrine dans l'eau donne à la laine, préparée par l'alun, une couleur jaune un peu plus pâle et plus verdâtre que celle qu'on obtient avec le morin. Elle se comporte de même avec la soie. Mais cette dernière, préparée par un sel de peroxyde de fer, reçoit un gris olive moins foncé que celui qu'on prépare avec le morin.

La quercitrine est le principe actif des décoctions de quercitron. Cette décoction préparée par l'ébullition de 10 parties d'eau et d'une partie de quercitron, pendant un quart d'heure, est d'un rouge orangé brun, elle ne se trouble pas par le refroidissement. Elle a l'odeur de l'écorce de chêne, sa saveur est astringente; elle précipite la colle de poisson. Elle contient, d'après M. Chevreul, des chlorures, des sulfates, de la chaux.

Les dissolutions alcalines de potasse, de soude, d'ammoniaque, de chaux, de baryte, de strontiane, en foncent la couleur. Ces trois dernières précipitent, en outre, des flocons d'un jaune roux. La décoction du bois jaune ne précipite pas. Le protochlorure d'étain y fait naître un dépôt roussâtre; l'alun ne la trouble que faiblement; l'acétate de plomb la précipite en flocons épais d'un jaune roux; l'acétate de cuivre la précipite en flocons fins d'un jaune foncé tirant sur le verdâtre. Le sulfate de peroxyde de fer colore la liqueur en vert vif; il se précipite, à la longue, des flocons d'un vert olive.

L'acide sulfurique concentré précipite des flocons roux solubles dans un excès d'acide; si l'acide est étendu, il affaiblit la couleur et précipite également des flocons. L'acide nitrique à 34 degrés se conduit de même, mais la liqueur acide qui redissout les flocons est d'un beau rouge brun.

31. Bois jaune (*morin blanc, morin jaune, morine.*)

On rencontre parmi les bois de teinture une espèce particulière qu'on nomme *morus tinctoria*, et qui provient du Brésil et des Antilles. C'est le bois jaune; cette substance a été l'objet d'un travail très-important de M. Chevreul, qui a fait connaître la nature du principe utile contenu dans le bois jaune. Nous étudierons cette matière sous le nom de *morin*.

Lorsqu'on examine attentivement des bûches de bois jaune, on trouve quelquefois des parties jaunes et des parties distinctes d'un blanc rosé. Traitées par l'éther, ces matières abandonnent par cristallisation, la première une substance jaune cristalline, la seconde une substance cristallisée, presque incolore; celle-ci se trouve accompagnée d'un résidu rouge qui lui donnait sa nuance, couleur de chair. En fractionnant les cristaux obtenus par l'évaporation de l'éther, les premiers qui se déposent sont jaunes et les seconds sont blancs; on leur enlève leur dernière teinte jaunâtre en les lavant à l'eau froide. Ils constituent le morin blanc, qu'on pourrait nommer *morine*.

Morine. — Ce nouveau produit possède une saveur douceâtre, astringente, amère, bien plus faible que celle du morin; il a moins d'action sur la colle de poisson; il devient d'un jaune plus foncé par les alcalis; la baryte ne le précipite pas; il précipite immédiatement par l'acétate de cuivre. Sa solution devient rouge-grenat par le protosulfate de fer; celle du morin jaune devient verdâtre..

L'acide sulfurique le fait passer au jaune roux; à la distillation, il donne de l'eau, des gaz et un liquide qui se condense en cristaux plus clairs que ceux fournis par le morin jaune.

S'il était prouvé que le morin jaune dérive du morin

blanc, il conviendrait d'appeler *morétin* le principe jaune qui paraît être l'élément utile dans la décoction de bois jaune.

Morin jaune (moréine).—Lorsqu'on fait concentrer et refroidir convenablement une infusion de bois jaune dans l'eau pure, on obtient une matière qui semble avoir cristallisé confusément; elle est jaune, mais elle peut présenter accidentellement des parties rougeâtres ou orangées.

Peu soluble dans l'eau, même bouillante, sa solution chaude dépose par refroidissement des flocons qui, recueillis sur un filtre, prennent un aspect cristallin. La dissolution refroidie est légèrement jaunâtre. Plus soluble dans l'alcool que dans l'éther ou dans l'eau, le morin cristallise de sa dissolution alcoolique sous forme de cristaux jaunes en aiguilles qui se disposent en mamelons.

La dissolution du morin dans l'eau trouble la colle de poisson; elle se colore en jaune très-pur au contact des alcalis, potasse, soude, ammoniaque, baryte, chaux, strontiane; elle passe en jaune verdâtre par une addition d'alun; le sulfate de peroxyde de fer le fait passer en vert-dragon, il y a précipitation; elle ne précipite pas immédiatement avec l'acétate de cuivre.

L'acide sulfurique concentré en avive la couleur; l'acide nitrique bouillant l'attaque et forme de l'acide oxalique. L'acide nitrique à 34 degrés fait passer sa couleur au rougeâtre et trouble sa dissolution. Sous l'influence de l'oxygène, le morin se transforme en une matière rouge.

Soumis à la distillation, le morin fond, se colore en rouge brun, abandonne de l'eau, puis un liquide qui se condense en cristallisant, sous forme d'aiguilles jaunâtres; elles paraissent être du morin inaltéré.

Nous avons dit que le morin était le principe utile du bois jaune. La décoction de ce bois, employée par le teinturier, faite avec une partie de bois pour 10 d'eau bouillante, est d'un rouge orangé vif, tant qu'elle est chaude; elle se trouble par le refroidissement en laissant déposer du morin pulvérulent. Abandonnée plus longtemps, elle laisse cristalliser une nouvelle quantité de morin. Cette décoction est inodore, d'une saveur amère, astringente; elle précipite la colle de poisson en flocons d'un jaune orangé; elle contient des sulfates et des chlorures, mais pas de chaux. Les dissolutions aqueuses de potasse, d'ammoniaque, de baryte, de strontiane et même de chaux, la font passer au rouge orangé brun verdâtre; le protochlorure d'étain y fait naître un précipité jaune; l'alun le précipite en jaune serin, l'acétate de plomb en jaune rouge, l'acétate de cuivre en jaune brun. Le sulfate de peroxyde de fer la colore en brun verdâtre et précipite des flocons vert olive.

Une dissolution aqueuse d'iode est sans action sur elle; mais une dissolution de chlore qu'on y mêle à volume égal la précipite légèrement en y développant une couleur rougeâtre, qu'un excès de chlore fait disparaître entièrement.

La décoction de bois jaune exposée sur le mercure au contact de l'oxygène passe au rouge. Par une épreuve comparative, faite dans les mêmes conditions, mais à l'abri du contact de l'air, cette décoction n'éprouve pas d'altérations.

De la laine et de la soie, préparées avec de l'alun, mises en contact dans des dissolutions saturées à 12 ou 16 degrés des différentes matières colorantes extraites du bois jaune, se colorent assez promptement. Le morin jaune donne un jaune un peu moins verdâtre que le morin blanc; le morin rouge donne une couleur orangée terne. La soie préparée par le sulfate de peroxyde de fer prend dans le morin jaune une couleur olive, dans le morin rouge une couleur plus foncée, dans le morin blanc une couleur marron clair.

32. Gaude *(lutéoline).*

La gaude, qui se cultive toujours pour les besoins de la teinture, est très-répandue partout; elle fournit une belle couleur jaune qui existe principalement sur les sommités des tiges fleuries: elle se trouve dans le commerce sous la forme de bottes sèches. M. Chevreul a donné le nom de *lutéoline* au principe colorant que la plante renferme.

Lutéoline. — A l'état de pureté la lutéoline est une matière peu soluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et dans l'éther; fusible, volatile, elle se sublime sous forme de belles aiguilles transparentes, légèrement jaunâtres. Ces observations sont dues à M. Chevreul.

Une dissolution aqueuse de potasse la colore en jaune très-riche qui passe au roux par l'absorption de l'oxygène de l'air. Les eaux de baryte, de strontiane, de chaux et d'ammoniaque se comportent de la même manière. L'acétate de plomb, l'acétate de cuivre, l'alun précipitent sa dissolution en jaune foncé. Les sels de peroxyde de fer la précipitent en jaune olivâtre. L'acide sulfurique très-pur y développe une magnifique couleur jaune, tirant plutôt sur le rouge que sur le vert; il se forme aussi des flocons roux. L'acide nitrique concentré la dissout; la solution d'un jaune orangé verdâtre précipite par l'eau. D'après M. Preisser, on obtient, au moyen de la dissolution de gaude, une liqueur d'un jaune clair qui précipite par refroidissement une abondance de cristaux jaunes pâles. Quand on fait bouillir ce liquide avec de l'acide chromique sirupeux, il se forme des paillettes d'un jaune d'or qui rappellent celles formées par l'iodure de plomb. Ces mêmes cristaux s'obtiennent encore par le contact prolongé de l'air. La matière jaune serait la *lutéoléine.* D'après M. Preisser, la lutéoline est une substance blanche, incolore, qu'on peut sublimer. Elle se comporte avec les acides comme M. Chevreul l'a décrit.

Une décoction de gaude contient une certaine quantité de tanin qui, s'altérant à l'air, masque les véritables caractères chimiques de la matière colorante. Cette décoction filtrée après le refroidissement présente l'aspect d'un liquide d'un jaune un peu roux. La potasse fait passer la couleur au jaune d'or un peu verdâtre. La baryte y fait naître un précipité floconneux d'un beau jaune. L'alun n'y fait qu'un léger précipité jaunâtre. Le protochlorure d'étain et l'acétate de plomb donnent des précipités jaunes assez abondants. Le précipité produit par l'acétate de cuivre tire sur le vert. Le chlore fait passer la nuance au roux, mais la couleur redevient jaune par un excès du réactif.

Les caractères chimiques de cette matière colorante permettent de la classer parmi celles qui jouissent d'une grande solidité.

33. Fustet *(fustine).*

On cultive en Provence, pour les usages de la teinture, un arbrisseau qu'on nomme *fustet* et dont le nom botanique est *rhus cotinus;* il appartient à la famille des térébinthacées.

La décoction du fustet dans l'eau contient une matière particulière que M. Chevreul a séparée le premier et que nous nommerons *fustine.*

Fustine.—Pour l'obtenir à l'état de pureté, M. Preisser sépare le tanin de la décoction au moyen d'un peu de gélatine. Il évapore à peu près à siccité pour reprendre le résidu par l'éther. La solution colorée distillée donne un nouveau résidu qu'on reprend par l'eau; la liqueur est traitée par l'hydrate de plomb, qui forme une laque qu'on décompose par l'hydrogène sulfuré. On obtient enfin un liquide incolore qui laisse déposer de petits cristaux jaunâtres, faciles à purifier complétement par de nouveaux lavages à l'éther.

La fustine possède une saveur légèrement amère;

elle est soluble dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther; les solutions au contact de l'air se colorent assez rapidement, l'acide sulfurique la dissout en lui donnant une couleur jaune claire; l'acide azotique la colore plus rapidement avec l'application d'une légère chaleur.

La potasse, la soude et l'ammoniaque lui communiquent immédiatement une belle coloration rouge. L'acétate de plomb la précipite en blanc, mais le précipité jaunit peu à peu, le sulfate de peroxyde de fer la fait passer au vert olive.

34. Sarrasin (*rutine, ilixanthine*).

On avait signalé, dans ces dernières années, dans le sarrasin *(polygonum fagopyrum)*, une matière colorante bleue, semblable à l'indigo. Cherchant à vérifier cette assertion, M. Schunck n'a pu trouver la moindre trace de matière se transformant en indigo, mais il a constaté dans les feuilles la présence d'une matière jaune parfaitement cristallisée.

Rutine. — Pour préparer cette substance, on traite par l'eau bouillante les feuilles de la plante lorsqu'elles ont atteint leur développement complet; la décoction filtrée dépose par l'acétate de plomb les matières étrangères, tandis que la matière colorante reste en dissolution parce qu'on n'a pas mis assez de réactif pour la précipiter. On décompose par l'acide acétique qui dépose de longues aiguilles, qu'il faut redissoudre dans l'alcool; le liquide alcoolique laisse cristalliser la matière pure par une vaporisation ménagée.

La rutine est entièrement neutre; elle se décompose par la chaleur en produisant une huile empyreumatique; elle se dissout peu dans l'eau froide, plus facilement dans l'eau bouillante; l'alcool la dissout en quantité considérable. L'acide sulfurique la dissout également, l'eau la précipite de cette dissolution. A chaud, la réaction est accompagnée de l'altération du principe colorant, l'acide nitrique forme de l'acide oxalique. Le chlore la résinifie. Elle se dissout dans les liqueurs alcalines, les acides la précipitent de ces dissolutions; mais il doit y avoir altération au bout d'un certain temps, car les acides cessent de la précipiter après une exposition prolongée au contact de l'air.

La solution aqueuse de rutine donne avec les sels d'alumine un précipité floconneux jaune, avec le protosulfate de fer, il y a coloration verdâtre, qui fonce peu à peu, en même temps qu'il se fait un précipité pulvérulent vert foncé; le perchlorure de fer ne donne pas de dépôt, la liqueur prend une coloration d'un vert olive; l'acétate de plomb précipite en jaune orangé; l'acétate de cuivre forme un dépôt par l'ébullition; le précipité se redissout par refroidissement.

La rutine semble teindre le calicot, mais elle ne teint ni la laine ni la soie.

Cette matière colorante déjà signalée par M. Weist dans le *ruta graveolens* paraît identique à l'ilixanthine trouvée par M. Moldenhauer dans l'*ilex aquifolium*. Il y aurait intérêt à la comparer avec les matières colorantes jaunes extraites par M. Lapage, pharmacien de Gisors, de l'*epilobium velu* et de l'*ulmaire*, des *epilobium spicatum* et *montanum* et de l'onagre (*œnothera*), qui sont capables de teindre la laine.

35. Gardenia grandiflora (*crocetine, crocine*).

M. Rochleder appelle *crocine* une matière colorante jaune qu'il a retirée du *gardenia grandiflora*. Cette matière paraît identique au principe colorant que renferment le safran *(crocus sativus)* et quelques colchiques.

La dissolution aqueuse de crocine est décomposée par les acides chlorhydrique et sulfurique à chaud. Il se formerait aux dépens de cette matière un sucre, et la nouvelle substance que l'auteur appelle *crocétine*.

Crocétine. — Une étoffe, préparée par un sel d'étain et plongée dans un bain de crocétine, prend une teinte d'un vert jaune foncé, qui, sous l'influence de l'ammoniaque, passe au jaune d'or. M. Rochleder pense que les Chinois font usage de cette matière pour la teinture des étoffes jaunes destinées aux mandarins.

36. Graine de Perse, (*chrysorhamnine, xanthorhamnine*).

On trouve dans le commerce, sous le nom de graine de Perse, les fruits du rhamnus tinctoria, qui fournissent une très-belle couleur jaune. Leur aspect est souvent variable; tantôt ces baies sont grosses, pleines, et d'un brun olivâtre; tantôt elles sont petites, ridées, et d'un brun foncé. Elles sont exportées du Levant.

Les baies brunes et les baies jaunâtres ne contiennent pas le même principe colorant.

M. Kane a donné le nom de chrysorhamnine à la matière colorante d'un jaune d'or, et xanthorhamnine à celle d'une couleur fauve, qui se produit par l'altération de la première.

Chrysorhamnine. — Elle se prépare en faisant infuser dans l'éther les baies du rhamnus tinctoria. C'est une matière d'un aspect cristallin, qu'on peut obtenir en masses étoilées et brillantes, formées d'aiguilles courtes et soyeuses. A peine soluble dans l'eau froide, elle se change dans l'eau bouillante en xanthorhamnine; elle se dissout peu dans l'alcool, qui l'altère quelque peu. Les dissolutions alcalines se comportent de même. Lorsqu'on ajoute à la dissolution de cette matière dans l'alcool de l'acétate de plomb, on obtient une magnifique laque d'un jaune superbe.

Xanthorhamnine. — La chrysorhamnine mise en ébullition dans l'eau, surtout au contact de l'air, ne se précipite plus sous forme cristalline par le refroidissement; elle reste dissoute en produisant un liquide jaune olivâtre. La liqueur évaporée jusqu'à siccité laisse une masse brune tout à fait insoluble dans l'éther, mais qui se dissout dans l'alcool et dans l'eau, qui est son meilleur dissolvant. Elle dérive de la chrysorhamnine par la fixation d'un équivalent d'eau et de deux équivalents d'oxygène.

M. Phipson a trouvé dans l'écorce et le tissu médullaire du *nerprun bourgène* et du *nerprun purgatif* une matière colorante jaune, qu'il désigne sous le nom de rhamnoxanthine, et qui pourrait bien n'être que la chrysorhamnine étudiée par M. Kane dans le graine de Perse.

Rhamnoxanthine. — Pour l'extraire, on fait digérer les branches de nerprun pendant environ quatre jours avec du sulfure de carbone; on laisse évaporer à la température ordinaire, puis on reprend le résidu par l'alcool qui dissout la matière colorante. On fait évaporer l'alcool, on reprend par l'éther et l'on obtient de petits cristaux jaune d'or, violacés, insolubles dans l'eau pure, dans l'eau acidulée, dans l'eau salée, mais qui sont solubles dans les alcalis, l'éther, l'alcool, le sulfure de carbone. La rhamnoxanthine donne une solution pourpre avec les alcalis et les carbonates alcalins; les acides les détruisent, et la coloration jaune apparaît de nouveau.

L'acide sulfurique concentré fait passer le rhamnoxanthine du jaune au *vert-émeraude*; pour conserver cette couleur, il faut enlever l'acide rapidement, car le vert passe au pourpre, puis au rouge, puis enfin au jaune. Le vert qui prend naissance dans ces circonstances résiste aux acides étendus tout aussi bien qu'aux alcalis faibles; il diffère de la chlorophylle et se rapproche, par ses propriétés, du vert de Chine que nous avons étudié plus haut.

La rhamnoxanthine forme avec les différents oxydes des laques rouges, brunes, jaunes. Elle forme une belle

laque violette, si, après l'avoir dissoute par l'ammoniaque, on la sature par l'acide nitrique, et qu'on l'additionne de magnésie.

Elle se combine directement à la laine et à la soie, qu'elle peut teindre sans intermédiaire en brun, rouge ou jaune; elle a beaucoup moins d'affinité pour les fibres végétales.

37. CURCUMA (*curcumine*).

Le curcuma, connu dans le commerce, est une racine tuberculeuse, allongée, ridée; d'un jaune pâle extérieurement, d'une chair plus brune à l'intérieur. Elle possède une odeur particulière, une saveur amère, et un arrière-goût épicé. Elle est employée dans la teinture des soies et provient du *curcuma rotunda*.

Lorsqu'on traite, par l'eau chaude, la racine réduite en poudre, on n'enlève pas toute la matière colorante; il faut laver d'abord avec l'alcool froid qui sépare la majeure partie des matières résineuses, puis on traite par l'alcool bouillant. On évapore le liquide et le résidu repris par l'éther abandonne tout le principe colorant, c'est-à-dire la *curcumine*.

Curcumine. — Après dessiccation, la curcumine ressemble beaucoup aux résines; fusible à 40 degrés, elle se dissout dans les huiles et dans les graisses, peu dans l'eau froide, davantage dans l'eau bouillante. Pour l'obtenir à l'état de pureté complète il faut reprendre par l'alcool le résidu laissé par l'évaporation de l'éther et traiter la dissolution par une dissolution alcoolique d'acétate de plomb. Il se forme immédiatement un précipité rouge qu'on lave, qu'on dessèche et qu'on délaye dans de l'eau pour le décomposer par de l'hydrogène sulfuré tant qu'il reste de l'oxyde de plomb non précipité sous forme de sulfure. On lave la poudre, on la dessèche et on la traite à l'état sec par l'éther, qui dissout la curcumine en laissant le sulfure de plomb.

La curcumine est très-peu soluble dans le sulfure de carbone. M. Lepage en a profité pour débarrasser le curcuma de son huile volatile et d'une partie de ses principes résineux en le traitant à deux reprises par ce dissolvant; il le sèche ensuite et l'épuise par l'eau alcaline; l'addition d'un acide en précipite la curcumine, mais il est indispensable pour la purifier de la dissoudre encore dans de l'éther rectifié.

En évaporant lentement l'éther, ou mieux en l'exposant à l'évaporation spontanée, la curcumine se dépose en petites lames minces inodores, d'un brun cannelle; quand on la réduit en poudre, elle donne une belle couleur jaune; elle fond sous l'influence de la chaleur, s'agglutine et brûle avec beaucoup de fumée. Sous l'influence de la chaleur, elle se décolore.

Les acides étendus ne la dissolvent pas; mais les acides concentrés la dissolvent sans l'altérer; lorsqu'on verse de l'acide sulfurique sur la curcumine en poudre, il se forme un liquide rouge cramoisi que l'eau décompose, il se forme des flocons d'un jaune verdâtre qui sont de la curcumine sans altération. Les acides chlorhydrique et phosphorique se comportent de même. L'acide acétique la dissout sans modifier la couleur primitive. L'acide azotique étendu de son volume d'eau n'altère pas à froid la curcumine qui se détruit avec dégagement de gaz si l'on fait intervenir la chaleur; il y a formation d'une résine et d'une substance soluble jaune qui reste dissoute. La résine est une belle couleur jaune, la substance soluble est cristallisable.

La solution de curcuma sert à préparer le papier de curcuma; ce réactif devient brun par les alcalis comme par les acides. Lorsqu'on fait une réaction acide on dissout la curcumine qui forme une dissolution brune. Lorsqu'on produit une réaction alcaline, il y a combinaison de la curcumine avec l'alcali pour former une liqueur brune; il y a toutefois cette différence entre les deux épreuves que l'eau détruit immédiatement la couleur produite par les acides, tandis que cet effet n'a pas lieu lorsqu'on a mis le papier en contact avec un alcali. Lorsqu'un acide faible rend au papier de curcuma sa nuance jaune primitive, c'est que l'acide se combine avec l'alcali, détruisant ainsi la cause de la coloration.

38. ROCOU (*bixine*, *bixéine*).

Le rocou n'est autre chose que la chair rougeâtre des fruits du *bixa orellana*. Cette matière vient en majeure partie de l'Amérique espagnole, des Indes orientales et du Brésil. C'est une pâte molle, d'un rouge vif, qui répand l'odeur de la violette; on peut la considérer comme formée par la réunion de plusieurs matières. J'y ai soupçonné pendant longtemps l'existence d'au moins deux principes colorés, l'un jaune et l'autre rouge, causes de la nuance orange que le rocou possède, surtout sur les points qui ont eu le contact de l'air. J'ai vu, dans le laboratoire de M. Jacquelain, trois substances différentes, extraites d'un rocou qui venait d'Espagne.

L'eau bouillante dissout complétement le rocou, mais la décoction est trouble, rougeâtre, d'une odeur et d'une saveur désagréables; en dissolution, elle ne fermente qu'au bout d'un temps assez long; les alcalis y forment un précipité blanc, et lui donnent une couleur orangée claire; les acides la font virer au rouge. L'alcool dissout aussi les matières colorantes du rocou; la liqueur est rouge. Les dissolutions alcalines dissolvent la matière jaune, les acides la précipitent sous forme de flocons orange, le sulfate de fer et l'alun agissent de même; le sulfate de cuivre donne un précipité jaune brun, le protochlorure d'étain un dépôt jaune citron.

Le rocou, d'après M. Preiser, contient une matière jaune, capable de s'altérer et de se transformer en une substance rougeâtre; il nomme la première *bixine* et la seconde *bixéine*.

Bixine. — Pour préparer cette matière, on traite la solution aqueuse du rocou par l'hydrate de plomb, qui forme une laque, l'hydrogène sulfuré décompose cette laque, et les liqueurs filtrées rapidement et concentrées donnent de petits cristaux blancs, aiguilles, qui sont la bixine. Elle possède une saveur amère, désagréable. Elle se colore petit à petit au contact de l'air, mais avec assez de lenteur. Elle n'a qu'une couleur très-faible; sous l'eau, sa blancheur persiste; elle est volatile, soluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther; elle se dissout encore dans l'acide sulfurique, qui forme un liquide jaune; le rocou brut prend avec l'acide sulfurique une couleur bleue particulière, qui n'appartient donc pas à la bixine pure. L'acide azotique la jaunit, l'acide chromique, qui n'agit qu'avec lenteur, lui communique une coloration jaune orangé.

Bixéine. — C'est sous l'influence simultanée de l'air et de l'ammoniaque que le rocou se colore en rouge; le produit de cette transformation a reçu le nom de bixéine; ce corps ne cristallise pas, il affecte la forme d'une poudre rouge, qui se colore en bleu sous l'influence de l'acide sulfurique, et qui se combine encore avec l'oxyde de plomb et les alcalis.

La couleur du rocou se fixe sans préparation sur la laine, la soie, le lin, le coton; elle manque de résistance à l'air, mais elle résiste assez à l'action des savons et des acides. Elle résiste mieux à l'action du chlore que le rouge de garance. On l'emploie surtout pour la teinture de la soie. Nous reviendrons plus loin sur les conditions pratiques dans lesquelles l'opération réussit.

39. ACIDE PICRIQUE (*acide carbazotique*).

M. Guinon, teinturier à Lyon, a fait connaître, en 1847, l'emploi de l'acide picrique pour teindre en jaune solide et brillant la soie qu'il n'altère pas. Depuis, on a fait une grande consommation de cette matière pour

la teinture des laines en couleurs unies, de nuances vertes composées, d'une extrême richesse et de la plus grande variété. J'extrais d'une notice publiée par M. Guinon, dans les *Annales de la société nationale d'agriculture, d'histoire naturelle et des arts utiles de Lyon*, 1849, les détails qui suivent :

Le teinture en jaune par l'acide picrique est tout à la fois remarquable par l'éclat et la solidité de la couleur qu'on en obtient, et par une application simple et facile.

L'acide azotique donne naissance, on le sait, par son contact avec les matières organiques, à des composés très-variés; entre autres produits très-stables, il forme avec plusieurs composés de nature organisée l'acide picrique, qui, découvert en 1788 par Hausmann, retrouvé plus tard parmi les produits de l'oxydation de l'indigo, de la salicine, de l'aloès et des huiles de houille, n'avait encore reçu jusqu'à ce jour aucune application industrielle; on s'était contenté d'indiquer parmi ses propriétés saillantes celle de tacher la peau en une couleur jaune brillante et solide. Le travail de Laurent sur l'huile de houille a donné le moyen de préparer l'acide picrique très-économiquement.

M. Guinon opère de la manière suivante :

Dans une capsule, ou terrine de grès, dont la capacité doit être au moins triple du volume des matières employées, on met d'abord trois parties d'acide azotique du commerce à 36 degrés, dont on élève la température à 60 degrés centigrades. On retire la capsule du feu, puis au moyen d'un tube de verre effilé à son extrémité inférieure, que l'on fait plonger dans l'acide, on verse peu à peu une partie d'huile de houille, dont le point d'ébullition est compris entre 160 et 190 degrés centigrades. Chaque addition d'essence qui traverse l'acide chaud produit immédiatement une vive réaction, de laquelle résultent échauffement de la masse et dégagement tumultueux d'acide carbonique et de bioxyde d'azote. Si le liquide menace de s'extravaser, on cesse de verser de l'huile et on tempère l'action par l'addition d'un peu d'acide froid. Lorsque toute l'huile qu'on a dessein de transformer est employée, la majeure partie se trouve déjà convertie en acide picrique. Mais il en reste encore beaucoup dans un état intermédiaire, sous forme d'une matière résineuse rougeâtre; pour compléter, autant que possible, la transformation, on ajoute trois nouvelles portions d'acide azotique, on porte le tout à l'ébullition et l'on évapore jusqu'à consistance sirupeuse, en ayant soin de ne pas laisser la matière se dessécher; sans cette précaution, la masse s'enflammerait.

On peut encore préparer à froid l'acide picrique en mélangeant simplement deux parties d'acide azotique avec une partie d'huile de houille. Il se produit de la chaleur, des gaz et de l'acide picrique; mais l'effervescence est moins vive que dans le premier cas; il se produit peu de vapeurs nitreuses, et l'on obtient une matière résineuse gluante qu'on doit traiter à chaud par l'acide azotique et faire évaporer comme précédemment.

Le liquide sirupeux se prend, dans les deux cas, par refroidissement, en une masse pâteuse, jaunâtre, dont le poids est d'environ le sixième des matières employées. Il se compose d'acide picrique, d'un peu de matière résineuse et d'acide azotique; on sépare l'acide picrique en faisant bouillir la masse dans l'eau, qui le dissout et l'abandonne ensuite par refroidissement sous forme de cristaux. Deux ou trois cristallisations le donnent à peu près pur. Mais, pour arriver à la pureté chimique, il faut le combiner à l'ammoniaque et le précipiter ensuite par un acide, puis le faire cristalliser de nouveau. Il constitue, dans cet état, une masse de cristaux transparents, d'un jaune citron clair.

Je dois à l'obligeance de M. Guinon jeune, de Lyon, le dessin de la disposition ci-contre (fig. 3727), à l'aide de laquelle on éloigne toute chance de danger. L'opération est régulière, tranquille; elle conduit à des produits remarquables. Cette disposition peut être adoptée dans beaucoup de cas analogues où les réactions sont tumultueuses et violentes.

Sur un fourneau A on a réservé huit bains de sable B, formés par une cuvette métallique qu'on peut chauffer à volonté par un foyer commun. Chaque bain de sable reçoit un ballon de verre C dans lequel, au moyen d'un large tube D, on fait affluer sur l'acide nitrique l'huile de houille ou l'acide phénique, qui s'écoule par un entonnoir E d'un récipient en bois F, qui contient la quantité nécessaire à l'opération; l'instillation se fait goutte à goutte. Les produits de la réaction qui se fait à froid s'échappent et se condensent dans un réservoir commun en grès G, maintenu par un support en métal H. Quand la réaction se trouve terminée à froid, on chauffe pour transformer la résine. Le résidu de l'opération est vidé dans les cruches K qui servent de cristallisoirs; le collet L des mêmes tourilles sert d'entonnoir; pour égoutter les cristaux, on met dans le fond du collet renversé quelques fragments de tuiles en terre très-cuite qui font l'office d'amiante et retiennent les cristaux en séparant un liquide très-acide qu'on fait rentrer dans les opérations subséquentes. On comprend qu'on peut avoir autant de fourneaux qu'on le désire. On réunit dans une cheminée commune tous les tubes de dégagement qui s'échappent des condenseurs G.

Il n'est pas nécessaire, pour les besoins de la teinture, de purifier complétement l'acide picrique, on se borne à laver à l'eau froide la masse pâteuse, pour enlever l'acide azotique en excès, puis on redissout dans l'eau bouillante, à laquelle on ajoute 400 grammes d'acide sulfurique pour 400 litres d'eau, pour séparer la matière résineuse qui reste avec l'acide picrique. La présence de cette matière donnerait à la soie une odeur désagréable, et ternirait la couleur en lui laissant une nuance rougeâtre. On obtient de la sorte une liqueur suffisamment pure, qui, étendue d'une quantité d'eau en rapport avec la nuance qu'on veut produire, peut être immédiatement employée comme bain de teinture.

En comparant la teinture en jaune par l'acide picrique avec les mêmes nuances obtenues par d'autres principes, M. Guinon prouve que l'acide picrique doit être préférable à la gaude, au bois jaune, au quercitron, à la graine de Perse, au curcuma, au fustet et au rocou. Ses convictions sont basées sur les motifs suivants :

1° La gaude donne une couleur riche qui résiste à l'eau et au soleil; mais elle est altérée par les acides; on ne peut la combiner aux matières textiles sans le secours de l'alun, et ce n'est que par des manipulations assez longues qu'on parvient à lui donner sur soie tout l'éclat qu'elle peut offrir. Les boutons et la fleur du *saphora japonica*, dont les Chinois se servent pour leurs teintures jaunes, ont les mêmes défauts que la gaude, elles portent de plus une nuance un peu plus orangée.

2° Le bois jaune et le quercitron présentent les mêmes inconvénients; ils ne fournissent pas d'ailleurs des nuances assez pures. On a dû les abandonner pour les couleurs jaunes, et s'ils servent encore, c'est pour la préparation des verts et de plusieurs couleurs composées. On peut en dire autant de la graine de Perse, qui, d'ailleurs, est d'un prix élevé.

3° La couleur que l'on obtient par le curcuma ne présente aucune solidité; la lumière directe du soleil la détruit en quelques instants; on est donc forcé de se priver de cette couleur pure et brillante.

4° Quant au fustet, quant au rocou, ces matières ne sauraient produire de jaunes clairs; ils ne peuvent encore donner que des nuances tirant à l'orangé.

La teinture à l'acide picrique réunit les avantages suivants, qui ont été reconnus par la plupart des teinturiers.

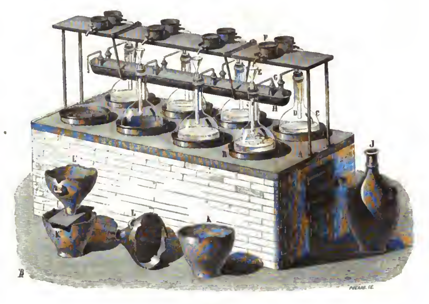
1° Prix peu élevé. Cette assertion pourrait paraître illusoire, si l'on se bornait à considérer le prix même de l'acide picrique à l'état solide, surtout il y a quelques années; mais on doit tenir compte du prix actuel et prendre en considération la puissance colorante de cette matière, dont un gramme suffit pour teindre un kilogramme de soie de couleur paille, nuance moyenne.

2° Emploi simple et prompt, sans intermédiaire.

3° Beauté comparable à celle du curcuma; résistance à l'action de l'air, à l'influence destructive de la lumière solaire.

M. Guinon termine en faisant ressortir cet avantage que l'acide picrique s'applique à la teinture des soies souples en produisant des nuances paille ou maïs que le curcuma seul fournissait auparavant, mais avec une solidité que le curcuma ne peut donner. De plus, cette teinture communique le toucher craquant à toutes les soies cuites et souples, condition recherchée pour le brillant et la qualité des étoffes.

Toutefois, l'acide picrique ne peut être employé que pour la teinture en jaune clair ou moyen, jusqu'à la nuance soufre ou citron clair, ou même encore jusqu'à la nuance maïs, avec addition de rocou; mais cette circonstance ne saurait enlever à ce nouveau procédé l'importance qu'il tire des avantages qui précèdent, car, à présent au moins, les nuances jaune clair, pâle et nankin sont demandées en proportion beaucoup plus considérable que les jaune vif, jonquille ou bouton d'or. Enfin il serait nuisible d'ajouter une trop grande quantité d'acide picrique au rocou et aux autres principes qui pourraient être altérés par oxydation. Cet inconvénient n'est assurément pas à redouter pour les nuances claires et moyennes.



3727.

Nous terminerons cet article en rappelant les diverses circonstances dans lesquelles l'acide picrique prend naissance. Cet acide, qui, précisément par cette cause, a reçu les noms d'*amer de Welter*, d'*acide nitropicrique*, d'*acide nitrophénisique*, d'*acide trinitrophénique*, d'*acide carbazotique*, d'*acide chrysolépique*, pourra, dans la suite, être obtenu par d'autres méthodes très-économiques; l'industrie ne l'a préparé jusqu'à ce jour qu'au moyen de l'huile de houille; il nous semble intéressant de faire connaître les principes organiques qui, jusqu'ici, l'ont fourni parmi les produits de leur oxydation.

On le prépare en faisant bouillir l'indigo bleu avec 10 ou 12 parties d'acide nitrique à 1,43 de densité, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs rouges. Par le refroidissement du mélange, l'acide carbazotique se dépose à l'état d'un magma souillé d'impuretés. Pour le purifier, on le dissout dans la potasse caustique, puis on le précipite par l'acide nitrique. L'acide qu'on obtient à l'aide de la salicine est d'une grande pureté, il ne nécessite pas d'autre purification. Enfin M. Schunck l'a rencontré dans les eaux mères provenant de l'action de l'acide azotique sur l'aloès.

D'autres matières organiques, plus ou moins répandues, la laine, la soie, la coumarine en fournissent. On pourrait le préparer encore dans de bonnes conditions d'économie, en prenant, non plus les huiles de Laurent bouillant entre 160 et 190 degrés, mais, d'après les observations de M. Bobeuf, en traitant de préférence les huiles lourdes qu'on agite avec de la soude pour former un liquide aqueux qui se sépare des huiles non saponifiables; on le décompose par l'acide chlorhydrique. Les huiles séparées par ce nouveau traitement sont em-

ployés, comme il est dit plus haut, d'après la note de M. Guimon. (Lyon, 27 avril 1849.)

40. Sambucus ebulus.

Nous avons dit qu'on faisait usage actuellement en teinture des fleurs de mauve noire. On pourra se servir également et au même titre de bain de sambucus pour obtenir une teinture en noir. A cet effet, on écrase les fruits, on les place pendant deux ou trois jours dans un vase de terre, puis on exprime la masse, et le liquide filtré devient tellement foncé qu'il faut l'étendre de 200 parties d'eau pour l'amener à la nuance du rouge vineux; 1200 parties d'eau conservent encore une nuance violette; le suc évaporé laisse 10 p. 100 de résidu soluble dans l'alcool, insoluble dans l'éther. Avec les sels de fer, il se forme un précipité noir qu'on peut employer en teinture.

§ IX. De la teinture proprement dite *considérée dans ses résultats généraux.*

L'art de la teinture, c'est-à-dire la science d'appliquer sur les étoffes les couleurs variées que la nature nous fournit ou que l'art nous enseigne à créer, fut trop longtemps soumis aux règles de la routine : notre époque féconde en grandes découvertes aura certainement le mérite d'avoir fait de cette industrie ce qu'elle est aujourd'hui ; mais si la chimie a, dans ces progrès, une part considérable, il est incontestable que les arts mécaniques ont eu de leur côté, sur les développements pratiques de cet art, une influence des plus salutaires. Voici les termes mêmes dans lesquels M. Dumas, si bien placé pour juger la question, expose cette double action de la science à laquelle il réserve plus encore dans un avenir prochain.

« Née de tâtonnements empiriques, longtemps la teinture ne fut soumise qu'aux lois de la routine.

« Il appartient à notre époque de mettre à sa place cet art si utile, et de le porter au premier rang parmi nos belles industries chimiques ; il faut, pour obtenir ce résultat, dissiper les nombreux préjugés qui environnant toute industrie marchant au hasard; la science moderne y parviendra peu à peu : elle transformera les recettes qui constituent toute la science du teinturier en règles certaines et invariables, fondées sur une connaissance scientifique des matières colorantes ; elle tracera la marche des améliorations ; elle écartera les difficultés qui surgissent dans la fabrication ; elle ouvrira enfin un nouveau champ aux recherches pour la production des couleurs solides et brillantes.

« C'est principalement à la chimie que la teinture sera redevable de tous ces progrès; et déjà, si on jette un regard en arrière de quelques années, on ne peut s'empêcher d'admirer ce qu'elle doit sous ce rapport à cette science. Le blanchiment des étoffes, l'application nouvelle de couleurs solides et brillantes, le moyen de les varier à l'infini, tout porte l'empreinte profonde de l'influence de la chimie. La mécanique est venue aussi apporter à l'art de la teinture son concours indispensable dans toute industrie de premier rang : c'est à elle que l'on doit ces machines si parfaites qui ont simplifié le travail et qui permettent d'obtenir, avec une grande économie, avec une précision et une rapidité merveilleuses, ces tissus si divers et si richement coloriés qui sont maintenant répandus dans les classes les plus pauvres de la société. »

Depuis quinze ans que ces lignes sont écrites, que de services réels l'art de la teinture en pleine prospérité n'a-t-il pas enregistrés !

Maintenant que nous connaissons, dans leur histoire et dans leurs propriétés, les matières colorantes dont on fait usage dans les ateliers, nous pouvons approfondir avec fruit les divers procédés à l'aide desquels on teint les différents tissus de nature animale ou végétale que l'industrie livre au commerce. Nous croyons toutefois devoir présenter ici sous forme de résumé celles des matières tinctoriales qui sont plus spécialement employées à la teinture d'une matière textile donnée, qu'elle soit à l'état de fil, d'écheveau, de tissu.

Nous devons distinguer les couleurs, en tant qu'elles sont appliquées sur une fibre textile quelconque, en couleurs *simples, binoires, ternaires, quaternaires*, etc.

Les couleurs simples sont le bleu, le rouge, le jaune.

Les couleurs binaires sont le violet, l'orangé, le vert.

Les couleurs ternaires sont les tons qui précèdent, plus ou moins modifiés par des mélanges.

Le noir et les tons rabattus sont en général des nuances très-composées.

Nous avons déjà vu dans l'étude que nous avons faite des matières colorantes qu'elles ne se comportaient pas de la même manière avec les divers tissus, suivant qu'ils étaient d'origine animale ou d'origine végétale. L'industrie a dû faire son profit de ces observations, et comme la manière dont une matière colorée se comporte à la lumière sur une étoffe donnée n'est pas la même pour toutes, que sa résistance est variable avec la nature du tissu sur lequel on l'a placée, le teinturier doit connaître *a priori* les chances de résistance qu'auront ses produits dans les circonstances où le consommateur devra les placer. Cette nouvelle considération ajoute à la nécessité de choisir pour un tissu donné les matières colorantes qui lui sont applicables. Nous examinerons à ce point de vue celles qu'on emploie sur laine, sur soie, sur coton, pour teindre en rouge, en bleu, en jaune, en violet, en vert, en orange.

Couleurs simples *(rouge, bleu, jaune).*

Teinture en rouge. — On se sert de garance, de murexide, de cochenille, de fuchsine, etc.

Laine. — Le rouge s'obtient sur *laine* avec la garance, le brésil, la cochenille, la lake-lake, la murexide ; les plus belles nuances roses sont fournies par la fuchsine. Les préparations de garance et d'étain donnent des nuances belles, pleines, brillantes ; l'écarlate ne s'obtient qu'avec les sels d'étain. Tantôt on passe dans le bain de teinture l'étoffe préalablement préparée par ce sel métallique, tantôt on prépare à l'alumine ; on garance, puis on déplace l'alumine par double décomposition au moyen du sel d'étain.

Soie. — La soie est généralement teinte par le carthame, on emploie quelquefois la cochenille ; aujourd'hui on fait un emploi considérable de fuchsine. Le bois de Brésil est une véritable ressource ; on a fait usage de la murexide et de quelques nuances tirées de l'orseille solide. Ces nouveautés ne datent que d'une année. On ne connaît pas sur soie la véritable écarlate.

Coton. — On teint le coton en rouge par le carthame, la garance, la cochenille, le bois de Brésil. La cochenille et le carthame fournissent des couleurs très-riches mais malheureusement fugaces. Le rose de carthame n'a, jusqu'à ce jour, été remplacé par aucune autre coloration. On a cependant annoncé la production d'un rose magnifique tiré de l'huile de goudron. Nous avons déjà donné quelques renseignements positifs à ce sujet, digne de toute l'attention des teinturiers. Certainement la fuchsine s'appliquera d'une manière industrielle. Quelques heures d'exposition au soleil suffisent pour faire passer la couleur du carthame. On peut colorer les étoffes de coton avec le rouge produit par l'iodure de mercure.

Teinture en bleu. — Le bleu s'obtient sur tissu par l'application de l'indigo, du bleu de Prusse, et par

la laque bleue que forme la décoction de campêche avec l'oxyde de cuivre.

Laine. — L'indigo se fixe sur la laine au moyen des cuves ; on le fait dissoudre au moyen de la chaux, de la potasse ou de la soude à l'état d'indigo blanc ; les laines trempées dans ces cuves absorbent une certaine quantité de cet indigo qui, sous l'influence de l'air de l'atmosphère, s'oxyde et passe, en vertu des réactions que nous connaissons, à l'état d'indigo bleu. La richesse de la nuance dépend de la quantité d'indigo fixé. La qualité du bleu dépend du soin avec lequel est faite l'immersion et de la régularité du contact de l'étoffe humide avec l'oxygène de l'atmosphère. La solidité de la couleur est assurée, puisque l'indigo n'est accompagné d'aucune substance capable à la longue de réagir sur lui.

On préfère presque toujours, pour teindre dans les nuances claires, employer l'indigo dissous dans l'acide sulfurique. Mais pour détruire l'effet de l'excès d'acide qui doit opérer la dissolution, on combine cette matière avec l'ammoniaque ou la soude, pour former des sulfindigotates de soude ou d'ammoniaque qui ont moins d'énergie destructive sur la laine, et qui teignent tout aussi bien après une préparation convenable au moyen de l'alun. On doit remarquer néanmoins que la teinte est riche, mais qu'elle laisse à désirer sous le rapport de la solidité. Le sulfindigotate d'alumine ou l'acide sulfindigotique manque de stabilité.

La laine se teint encore en bleu par une immersion dans une décoction de bois de Campêche en présence du sulfate ou de l'acétate de cuivre. Ce bleu ne résiste pas ; on le nomme *bleu faux* ; mais il possède un certain éclat qui le rend très-utile.

Le bleu de Prusse s'applique encore sur laine ; il est connu sous le nom de *bleu de France*. On l'obtient, soit en déposant sur la laine l'oxyde de fer et faisant intervenir ensuite l'acide prussiano-ferrique jaune et l'acide prussiano-ferrique rouge, ou en faisant intervenir directement l'acide prussiano-ferrique jaune, dont on détermine la décomposition sur l'étoffe par l'intermédiaire de l'air qui le transforme en bleu de Prusse.

Quelle que soit la méthode préférée lorsqu'on fait usage des prussiates, ils ne peuvent être employés qu'à la condition d'être dépouillés de leur base par des acides ou des sels acides. Un grand inconvénient résulte pour l'obtention des nuances foncées de la nécessité de faire usage à cet effet dans l'impression, des acides tartrique et oxalique, c'est-à-dire des acides les plus coûteux.

Ces considérations, et d'autres qui sont plutôt encore du ressort de l'art de l'indienneur, ont conduit la Société de Mulhouse à proposer un prix pour l'introduction dans le commerce des drogues propres à l'impression et à la teinture de l'acide prussiano ferrique, ou des prussiates de calcium et de baryum. L'inconvénient de la pratique actuelle est énorme puisqu'il force, pour faire emploi du prussiate qui varie de 3 à 4 fr. le kilogramme, à sacrifier au moins le même poids d'un acide qui vaut plus cher que lui.

Soie. — La soie se teint en bleu par le moyen du bleu de Prusse, en plongeant la soie préalablement préparée par le sel de fer dans une dissolution d'acide prussiano-ferrique jaune. Pour avoir un bleu solide, on a recours à l'indigo. Mais on n'arrive dans ce cas à des nuances foncées que par l'addition d'une teinture d'orseille ; on peut encore associer à la fois la cochenille, l'orseille, ou le bleu de Campêche, et l'indigo ; mais comparées à celles que fournit le bleu de Prusse pur, ces nuances paraissent ternes et rabattues.

J'ai vu des soies teintes en un bleu magnifique extrait de l'aniline ; les procédés sont encore secrets ; ils conduiraient au plus beau bleu connu jusqu'alors.

Coton. — Le coton peut recevoir le même bleu que la laine ; seulement lorsqu'on veut fixer l'indigo bleu sur le coton, on se sert d'une cuve spéciale qu'on nomme *cuve au vitriol* et qui se monte avec de la chaux et du sulfate de protoxyde de fer.

TEINTURE EN JAUNE. — On se sert de gaude, de curcuma, de quercitron, d'acide picrique, etc.

Laine. — Les jaunes sur laine se font avec la gaude, le quercitron, le bois jaune ; on se sert du curcuma, du rocou, du fustet ; ces substances sont, du reste, excessivement variées ; on a proposé la camomille, les genêts et d'autres fleurs sur les principes colorants desquelles nous nous sommes étendus plus haut.

Le quercitron, le bois jaune et la gaude fournissent une couleur jaune assez solide ; le fustet donne un jaune très-brillant ; le curcuma, facile d'application, manque de résistance aux agents atmosphériques ; on ne l'applique guère que sur les étoffes de fantaisie ; il est exclu de la pratique dans la teinture des draps ou des étoffes de laine destinées à résister à de certaines fatigues.

Soie. — On fait usage sur soie des mêmes matières que sur laine, mais on y ajoute le rocou pour les nuances virant à l'orangé. L'acide picrique, ainsi que nous l'avons dit et dans les circonstances que nous avons énumérées, a pris une place importante, pour la soie comme pour la laine, comme matière colorante propre aux teintures brillantes et solides.

Coton. — On joint, pour teindre le coton, les graines de Perse et d'Avignon aux matières qui précèdent, l'acide picrique excepté, qui ne teint le coton qu'autant que cette matière a pu, d'après les expériences de M. Kulhmann, être préparée par l'acide azotique. Le chromate de plomb, qui donne aussi sur le coton une couleur d'un vif éclat, est employé dans une foule de circonstances, soit comme teintes unies, soit comme couleurs d'impressions obtenues par fixation, soit à l'albumine, soit par double décomposition ; ce dernier procédé se trouve être de beaucoup le plus simple et le plus commode.

COULEURS BINAIRES (*violets*, *orangés*, *verts*).

Généralement les couleurs binaires s'obtiennent par l'application sur l'étoffe des deux matières simples qui, par leur mélange ou leur superposition, peuvent produire la couleur en question ; il est évident qu'il faut tenir compte alors de leur action mutuelle, des circonstances générales dans lesquelles la couleur est appliquée, de la réaction acide ou basique sous l'influence de laquelle elle prend de l'adhérence avec le tissu, de la nature enfin du tissu lui-même, puisqu'il est des matières colorantes qui ne se fixent pas sur une fibre textile d'une origine déterminée. Quelques exemples fixeront les idées.

Violets. — Généralement les couleurs violettes sont obtenues par la superposition de couleurs rouges sur des nuances bleues ou réciproquement ; on fait un choix de la méthode à suivre, suivant que le violet est pâle ou foncé, suivant aussi que la nuance ne sera reproduite avec exactitude que par un virement acide ou alcalin.

Nous avons fait connaître les qualités particulièrement remarquables de l'orseille ; elle donne immédiatement des nuances violettes sur soie, sur laine et sur coton. Les nuances sont, à volonté, claires ou vigoureuses, suivant l'état de concentration du bain, ou le nombre des teintures successivement apposées. Il est peu de matières qui aient rendu d'aussi grands services aux teinturiers qui ne reprochaient à cette couleur qu'une fugacité trop grande. Grâce aux travaux de MM. Guinon, Marnas et Bonnet, que nous avons longuement exposés, la teinture sur laine et sur soie se trouve maintenant dotée d'une couleur d'orseille solide comparativement aux anciennes couleurs.

L'indisine ou violet d'aniline fournit aussi directement du violet sur coton, sur laine et sur soie. Ce sont les plus solides.

Orangés. — Les couleurs qui tiennent de l'orangé se préparent trop souvent involontairement en fixant les matières colorantes rouges. En effet, ces dernières sont presque toujours mélangées dans les substances tinctoriales qui les fournissent avec des matières jaunes, ou bien elles donnent naissance à des produits de cette nuance avec les préparations métalliques dont la réaction est acide.

Verts. — Le vert s'obtient toujours par la réunion en mélange ou par superposition des couleurs jaunes et des couleurs bleues. On les prépare, par exemple, avec le bleu d'indigo de cuve, ou le bleu de sulfate d'indigo, modifiés après coup par des jaunes appropriés à l'étoffe qu'on veut teindre, à la nuance qu'on veut produire, à la durée qu'on cherche à produire, à la méthode qu'on a suivie pour appliquer l'indigo. Les verts de cuve sont solides; les verts de Saxe le sont beaucoup moins; à l'indigo, dans les premiers, on associe le jaune solide comme le bois jaune. Le jaune des seconds est extrait du curcuma qui résiste mal à l'action de la lumière solaire.

On sait, d'après ce que nous avons dit plus haut, que les Chinois produisent directement sur soie une couleur verte très-brillante et très-remarquable qui se prépare directement et qui conserve un éclat très-vif à la lumière artificielle. Grâce aux travaux de M. Persoz, grâce encore à l'initiative de la chambre de commerce de Lyon, on a pu connaître, ainsi que nous l'avons vu, l'origine de cette matière, les procédés au moyen desquels on la prépare, et les méthodes que l'on emploie pour en faire l'application.

COULEURS TERNAIRES (*noirs et bruns*).

TEINTURE EN NOIR. — La couleur noire est souvent difficile à produire, lorsque le consommateur exige que ce noir possède des reflets de nuances données; on ne peut alors les obtenir que par des couleurs très-composées.

Laine. — Mais la laine a tant d'affinité pour la teinture en noir qu'elle donne une coloration assez facile. On peut, à volonté, sur ces fibres en écheveaux, ou sur les laines en toisons, fixer l'oxyde de fer, pour faire bouillir ensuite dans la décoction de matière tannante, ou suivre la méthode inverse qui consiste à préparer l'étoffe avec la matière tannante pour terminer par le bain contenant l'oxyde de fer. On brunit alors avec le bain ferrugineux. On peut joindre le cuivre au fer; les substances qu'on préfère sont alors la noix de galle et le campêche, le vitriol vert et le vitriol bleu; ces matières deviennent les éléments du principe noir qui se dépose sur le tissu.

Soie. — La teinture en noir sur soie présente des difficultés particulières : elle semble au moins généralement exiger qu'on commence par procéder à la combinaison préalable de la fibre textile, qui l'absorbe en grande abondance, avec le tanin, surtout le tanin de châtaignier. On finit ensuite la teinture en passant la soie dans un bain de fer dont chaque industriel fait mystère.

Coton. — Pour teindre le coton, on commence toujours par fixer le fer sur le tissu qui l'attire avec énergie; on termine ensuite en faisant bouillir l'étoffe avec des décoctions de noix de galle plus ou moins mêlées de campêche.

De la pureté des nuances.

Tels sont les principes généraux que l'expérience à fait admettre. Pour les compléter, nous devons placer ici la remarque suivante à laquelle on n'attache pas assez d'importance, lorsqu'on analyse les phénomènes optiques auxquels donne lieu l'examen d'une étoffe teinte en couleurs binaires. M. Chevreul a parfaitement fait ressortir l'influence des faits sur lesquels je désire fixer l'attention, en l'étudiant sur l'art de mélanger les fils diversement colorés; il a tiré parti de ses observations pour définir et perfectionner l'art du tapissier. Le savant directeur des teintures aux Gobelins a cherché les modifications que les diverses couleurs éprouvaient l'une à côté de l'autre, pour en déduire ce qui doit se passer lorsque ces couleurs sont mélangées par une sorte de porphyrisation. C'est, en effet, la même impression que perçoit l'œil lorsqu'on broie des couleurs, lorsqu'on teint simultanément des nuances différentes, ou lorsqu'on superpose des tons variés. D'après M. Chevreul, « l'art de mélanger les fils diversement colorés, soit en en réunissant plusieurs ensemble pour former un fil complexe, ou en les entre-croisant à la manière de ce que l'on appelle une hachure en dessin, et dans les deux cas, avec l'intention de ne produire que la sensation d'une seule couleur, et de la produire sûrement telle qu'on la veut, cet art dérive d'un principe très-général qu'on nomme *principe du mélange des couleurs.* »

Ce principe s'applique aussi bien au mélange des fils colorés qu'emploient le tisseur de châles, le tisseur d'étoffes de soie, le fabricant de mosaïques, etc., qu'à la préparation, par les méthodes de la teinture, des couleurs binaires, ou des couleurs rompues et rabattues par le mélange des couleurs simples ou binaires avec le noir, en appliquant sur des étoffes des matières colorées aussi intimement mélangées que le sont celles des peintres.

Des études de M. de Chevreul sur le principe des mélanges des couleurs il résulte, lorsqu'on applique sur des étoffes des matières colorées qui n'ont point d'action chimique mutuelle capable de modifier leurs couleurs respectives, deux vérités que nous allons formuler en peu de mots.

Nous avons limité les circonstances dans lesquelles les axiomes que nous énonçons restent en dehors de toute discussion. Pour préciser les faits, nous rappellerons comme exemple particulier la superposition du jaune de gaude sur une étoffe colorée par du bleu de cuve; les deux couleurs conservent leurs nuances respectives, mais elles produisent du vert par leur mélange.

Or, dans toutes les circonstances analogues, qu'il s'agisse de violet ou d'orangé,

1° Pour obtenir des couleurs franches, orangées, violettes ou vertes, par le mélange du rouge avec le jaune, du jaune avec le bleu, du bleu avec le rouge, il faut que chaque mélange ne renferme que les deux couleurs qui doivent constituer l'orangé, le vert et le violet.

2° Si les couleurs mélangées sont au nombre de trois, il en résulte toujours du noir ou du gris, et dès lors on obtient :

a. Du noir et du gris normal, si le mélange présente des couleurs mutuellement complémentaires;

b. Du noir ou du gris normal, plus une couleur sensible, si le mélange des couleurs n'est pas mutuellement complémentaire. Il en résulte ce que les teinturiers nomment une *couleur rabattue*, et ce que les peintres appellent une *couleur rompue*.

Ces deux principes sont applicables à tous les arts qui parlent aux yeux par les couleurs. Les conséquences en sont immédiatement applicables à l'art de la teinture. Si le teinturier sait, après une étude approfondie des qualités optiques des couleurs, connaître à fond celles qu'il peut appliquer sur une étoffe donnée, ne peut-il pas être certain de faire toujours des couleurs binaires parfaitement pures, s'il élimine toute

substance colorante capable d'introduire une troisième couleur dans le mélange qu'il en fera.

D'un autre côté, ne fera-t-il pas assurément du noir ou des couleurs rabattues du ton qu'on lui demande, s'il sait créer sur l'étoffe des couleurs mutuellement complémentaires, qui se neutraliseront d'une manière exacte, s'il veut avoir du noir ou du gris normal, ou dont l'une sera en excès, s'il désire une couleur rabattue ?

Ne sait-on pas que pour transformer en une étoffe blanche un tissu légèrement coloré, il suffit d'en neutraliser la nuance par sa complémentaire; tel est le principe de ce qu'on nomme l'azurage des étoffes qui ont une légère couleur rousse. L'œil juge une étoffe ou généralement une surface quelconque blanche quoiqu'elle soit teintée d'une ombre légère, tandis qu'il la jugerait colorée, si cette teinte ombrée se réduisait en les deux teintes complementaires qui seraient équivalentes. L'art de faire du noir en teinture donne le moyen de neutraliser une couleur en y ajoutant sa complémentaire; le blanchisseur emploie ce moyen pour qu'une étoffe, très-légèrement colorée, paraisse plus blanche qu'elle ne le paraîtrait, s'il n'en avait pas neutralisé la couleur par la complémentaire de celle-ci.

§ X. DE LA TEINTURE

considérée sous le rapport de la stabilité des couleurs.

Nous voyons, par ce qui précède, que les principes généraux sur lesquels se base l'art de la teinture reposent sur l'observation des faits optiques, chimiques et mécaniques tout à la fois, et nous rappellerons ici qu'il est impossible de regarder les phénomènes de teinture comme uniquement dus à l'affinité chimique, et qu'on n'est pas plus fondé lorsqu'on les rapporte à de simples phénomènes mécaniques. Dans cette dernière hypothèse, la matière colorante devrait se conduire de la même manière vis-à-vis de la lumière, quelle que soit l'étoffe (laine, soie, coton) sur laquelle elle est appliquée; or, on a remarqué, sous ce rapport, des différences tranchées que nous avons déjà signalées à titre sommaire, mais sur lesquelles nous pouvons revenir actuellement.

On s'explique les différences de stabilité d'une même matière colorante selon qu'elle est appliquée sur des tissus de coton, de laine ou de soie, en prenant en considération les actions chimiques qui s'accomplissent au contact de la matière colorante et des tissus.

L'expérience a conduit M. Chevreul à poser les conséquences suivantes, après avoir étudié la même matière colorante dans ses rapports avec une étoffe déterminée qu'il plaçait simultanément dans le vide, dans la vapeur d'eau, sous l'influence de la lumière solaire, à l'abri de la lumière solaire.

Nous commencerons par exposer les phénomènes très-remarquables observés sur le bleu de Prusse soumis dans le vide à l'action de la lumière.

Lorsqu'on place des étoffes de coton, de laine ou de soie dans un flacon dans lequel on fait le vide et qu'on l'expose à l'action de la lumière solaire directe, on voit ces étoffes blanchir en perdant du cyanogène, ce qu'on peut facilement constater en plaçant dans le flacon qui contient l'étoffe un petit tube ouvert rempli de fragments de potasse. Si le vide est humide, le cyanogène se transforme en une matière brune qui se dépose sur l'étoffe et sur les parois du vase. Sous l'influence de la lumière solaire le bleu de Prusse se décompose donc en cyanogène et protocyanure de fer. Les étoffes blanchies à la lumière, exposées au contact de l'air, se colorent progressivement. Rien de semblable ne se produit si l'air ou l'oxygène sont remplacés par de l'acide carbonique. Dans le premier cas, l'oxygène se portant sur une portion du fer forme du peroxyde de fer, tandis que le cyanogène qui se sépare en proportion équivalente convertit une certaine quantité du protocyanure en percyanure qui reproduit du bleu de Prusse avec le reste du protocyanure.

Dans le vide, avec une température de 170° à 190° en dehors de la radiation solaire, les étoffes teintes en bleu de Prusse présentent les mêmes phénomènes, sans toutefois blanchir complétement, dans l'espace de quelques heures; la décoloration est accompagnée d'un dégagement de cyanogène. La coloration se reproduit sous l'influence de l'oxygène ou de l'air atmosphérique, et dans les deux cas on peut produire sur la même étoffe, un certain nombre de fois, cette succession remarquable de décoloration et de coloration tranchées.

Une étoffe de coton teinte en bleu se décolore encore au milieu de l'eau distillée privée d'air, mais exposée directement à l'action du soleil il n'y a pas de dégagement gazeux; l'eau seule forme du bleu de Prusse lorsqu'on y ajoute du carbonate d'ammoniaque, de l'acide chlorhydrique et du protosulfate de fer; il y a donc encore ici dégagement de cyanogène.

A côté de ces remarquables observations nous allons placer les faits suivants que l'expérience a permis de constater, et qui sont de nature à guider le teinturier dans le choix des couleurs qu'il doit prendre pour l'application des couleurs simples, binaires ou ternaires sur un tissu déterminé.

Le carthame, le rocou, l'orseille, l'indigo, l'acide sulfindigotique sur la soie se conservent dans le vide.

Le curcuma s'altère dans le vide, mais moins que dans l'air.

Le curcuma et le carthame sont plus stables sur le coton que sur la laine et la soie.

Le rocou l'est plus sur la soie que sur le coton et sur la laine.

L'orseille est moins stable sur le coton que sur la soie et la laine. La pourpre française est moins altérable encore sur laine et sur soie.

L'acide sulfindigotique est beaucoup plus stable sur la soie que sur la laine.

L'acide picrique, qui gagne sur la soie par une exposition de trois mois au soleil, perd ensuite, quand sur la laine il gagne, même au bout de huit mois, en virant à l'orangé.

Il faut ajouter ici, pour n'y pas revenir plus loin, que certaines matières organiques ou minérales ajoutent à la solidité des couleurs adhérentes.

Nous reprendrons du reste ces faits pour citer des exemples, lorsque nous définirons les couleurs de *grand* et de *petit teint*.

Il résulte encore des recherches de M. Chevreul que l'intensité de la couleur exerce sur sa résistance une influence notable. Cette observation est la conséquence de ce principe posé par le savant académicien, « qu'à la rigueur, on pourrait blanchir des étoffes de ligneux, lors même que la matière colorante serait plus inaltérable que l'étoffe elle-même, par la raison que la matière colorée se trouvant en quantité très-faible on pourrait la détruire en détruisant une quantité proportionnelle de l'étoffe sans que celle-ci fût sensiblement affaiblie dans sa ténacité. Cette remarque explique parfaitement comment des matières colorées telles que l'indigotine, les principes colorants de la garance, de la cochenille, de la gaude, etc., qui de tout temps ont été réputées de bon teint, ne le sont plus à proprement parler lorsqu'elles ne sont appliquées qu'en faible quantité de manière à faire les tons les plus clairs des gammes dont les tons foncés sont avec juste raison déclarés de grand teint.

Grâce aux tons clairs qu'on prépare aujourd'hui dans l'atelier des Gobelins, par interposition ou imprégnation, on peut à la rigueur exécuter une foule de tons clairs solides qui manquaient à l'ancienne palette, en

recourant aux matières colorées inaltérables à l'air comme le bleu d'outremer, le cinabre, les sesquioxydes de fer et de chrome, le phosphate de cobalt fondu, etc.

Ces mêmes observations ont conduit M. Chevreul à faire le *rabat* des teintes rabattues au moyen des couleurs de bon teint qui sont complémentaires. Avec l'indigo de cuve, la garance, la gaude, on fait des couleurs grises ou rabattues, qui ont une résistance bien supérieure à celle des gris faits au moyen des astringents et des sels de fer. On commence à produire aujourd'hui, d'une manière industrielle, de ces couleurs solides qui résistent en raison de la grande intensité de leur nuance. Au reste, le filateur fera lui-même ces nuances en filant des mélanges voulus de fibres blanches et de fibres teintes en nuances foncées de couleurs déterminées.

Couleurs de grand et de petit teint.

Quelle que soit la nature de la matière textile qu'on veut teindre en uni, soit en fil, soit en tissu, les industriels divisent les teintures en couleurs *bon teint*, et en couleurs *mauvais teint*. A l'époque des *jurandes* et des *maîtrises* on distinguait, et ces désignations se sont perpétuées, les nuances de grand et de petit teint, d'après leur origine; cette division était complétement inexacte, incertaine, puisque des expériences de tous les jours ont fait voir qu'une couleur, selon la manière dont elle est appliquée ou fixée, peut contracter une combinaison intime avec la fibre, ou n'y adhérer que faiblement, rester inaltérable dans certaines circonstances, ou s'altérer et disparaître entièrement dans d'autres.

Nous ajouterons encore que plusieurs des sels déposés mécaniquement sur les tissus ne résisteraient pas aux moyens d'épreuves que nous allons décrire, bien qu'ils résistent parfaitement aux influences de la lumière et de l'air. D'ailleurs, dans un autre ordre d'idées, M. Chevreul a démontré l'influence de la nature de la fibre, mise hors de doute par ses nombreux travaux.

Nous citerons encore, pour corroborer cette opinion sur l'insuffisance des moyens d'essai pour classer les couleurs en grand et petit teint, un dernier fait tiré de l'action du campêche. Lorsqu'on a formé des laques violettes en préparant l'étoffe avec un sel d'alumine, et en teignant, la couleur résiste à l'eau, mais s'altère à l'air; quand on prépare une couleur d'application au moyen du protochlorure d'étain, la laque résiste à l'air, mais elle disparaît dans l'eau bouillante; enfin traitée par le chromate de potasse, elle se sature d'oxygène, et dans ces conditions, elle résiste non-seulement à l'air, à l'eau, mais encore aux autres agents atmosphériques.

Lorsque Dufay fut chargé par l'administration supérieure de travailler au perfectionnement de l'art de la teinture, son premier soin fut de reviser les statuts, ordonnances et règlements des teinturiers en ce qui concerne particulièrement la distinction des teintures en *grand* et *bon teint* d'avec les teintures en *petit teint*. Les règlements revisés furent surtout ceux des années 1669 et 1671. D'après son travail :

Une couleur est réputée de bon teint lorsqu'elle résiste au soleil et à la rosée des nuits, douze jours d'été et dix-huit jours d'hiver; elle est réputée de petit teint lorsqu'elle est plus ou moins effacée dans les mêmes circonstances. Cette règle une fois admise, on juge une couleur A en exposant à l'air un petit morceau d'étoffe teint en une couleur B que l'on sait être de petit teint, comparativement avec un morceau de l'étoffe teinte en couleur A jusqu'à ce que la couleur soit devenue ce qu'elle devient par une exposition au soleil pendant douze jours d'été. Ce résultat obtenu, on compare A et B; puis on conclut. Dufay choisit ensuite pour étudier la résistance des couleurs de grand et petit teint les *débouillis* tels que l'alun de Rome, le tartre rouge et le savon blanc, d'après la considération de ne pas décolorer les étoffes de grand teint, et de réduire, autant que possible, les couleurs de petit teint à la même apparence que le fait l'exposition de douze jours au soleil d'été. Ces principes furent confirmés par Hellot qui n'apporta que de légères modifications. Ils servent encore de base à la distinction des couleurs en couleurs de grand et de petit teint que les arts ont conservées.

Lorsqu'on ne peut ou ne veut juger la solidité d'une nuance soit parce que le soleil manque, soit parce qu'on est désireux de connaître immédiatement le résultat d'un essai, le teinturier s'adresse aux réactifs chimiques ou plus rapidement aux épreuves anciennes que nous venons de nommer *débouilli*, ou *débouts*; entrons ici dans quelques détails qui complètent ceux qui sont inscrits à l'article TEINTURE de la 2e édition de ce *Dictionnaire*.

Pour cette épreuve on a reconnu qu'il est nécessaire de séparer en trois classes toutes les couleurs dans lesquelles les laines peuvent être teintes, tant en bon teint qu'en petit teint, et de fixer la composition des débouillis, c'est-à-dire la dose des matières qui doivent altérer les couleurs comprises dans chacune des trois classes.

Les couleurs comprises dans la première classe sont débouillies avec l'alun de Rome; celles de la seconde avec le savon blanc, celles de la troisième avec le tartre rouge, c'est-à-dire avec le tartre brut encore mélangé de la matière colorante qui se rencontre dans la lie du vin rouge.

Pour faire un débouilli, l'expérience et les conventions admises fixent la dose des composés chimiques, la quantité d'eau, le poids de l'échantillon, la température du liquide, la durée de l'opération dont les résultats varieraient beaucoup sans cette précaution.

Le débouilli fait avec l'alun de Rome se prépare en mettant dans un vase de terre ou terrine 15 gr. d'alun dans 500 gr. d'eau. Lorsque la dissolution bout à gros bouillons, on y met 4 gr. de l'étoffe dont on veut faire l'épreuve; on l'y laisse bouillir pendant cinq minutes, on la retire, on lave à l'eau froide, on fait sécher, puis on compare.

Pour le débouilli de savon blanc, on met seulement 7 à 8 gr. de savon blanc haché dans 500 gr. d'eau; on fait bouillir à gros bouillons, on jette l'échantillon et on maintient le contact pendant 5 minutes.

Le débouilli de tartre rouge se fait de même et avec les mêmes doses que celui d'alun : il faut seulement employer le tartre en poudre et le dissoudre entièrement avant d'y plonger l'étoffe à classer.

On doit débouillir avec l'alun les cramoisis de toute nuance, l'écarlate de Venise et les nuances qui s'y rapportent, les violets et les gris de toutes nuances, les pourpres et les bleus. A l'inspection de la couleur après l'épreuve, on juge par la couleur qui reste si la couleur est de faux teint.

On débouillit avec le savon blanc les jaunes clairs et foncés, toutes les nuances de vert et de jaune, les rouges de garance, les bruns clair, cannelle, tabac, etc.

On débouillit au tartre les couleurs dénommées sous la désignation de fauve ou couleur de bois foncé ou clair. Quant au noir, il faut toujours en faire l'essai par un débouilli beaucoup plus actif; car il faut voir si l'échantillon qu'on veut classer a reçu le pied de bleu qui lui donne de la solidité. Pour cette épreuve on met dans 490 à 500 gram. d'eau, 30 gram. d'alun de Rome, et 30 gr. de tartre rouge, on fait bouillir le tout et on y jette l'échantillon qu'on maintient à l'ébullition tumultueuse pendant un quart d'heure; on le lave ensuite à l'eau fraîche. Il sera facile de reconnaître alors si l'échantillon a reçu le pied d'indigo, car dans ce cas il devra rester coloré en bleu presque noir;

dans le cas contraire le fond ne conservera qu'une couleur grise. Les gris de fer et de noix de galle n'ont besoin de subir aucun débouilli; on les fait tous de même, et si l'on s'est conformé d'une manière complète aux indications que nous avons données, ils sont brillants et de bonne qualité.

Depuis que les jurandes et les maîtrises n'existent plus, l'industrie est libre de faire des étoffes quelconques, à moins de conventions spéciales entre l'acheteur et le vendeur. Toute garantie cependant ne peut disparaître pour l'acheteur, mais il faut qu'il demande au marchand l'indication de la matière employée pour teindre la marchandise vendue. Si le commerce consentait, pour les objets de valeur, à devenir exigeant, il y aurait lieu de compléter l'éducation des masses et de déposer au Conservatoire des arts et métiers ou aux Gobelins, par exemple, une série de teintes exposées au soleil, en permettant la confrontation des échantillons avec une série semblable soigneusement conservée dans des tiroirs à l'abri de la radiation solaire. Ces idées émises par M. Chevreul contrarieraient les abus qui sont condamnés dans d'autres industries et que la loi frappe comme fraude sur la nature des marchandises vendues.

§ XI. DE LA TEINTURE

considérée dans ses méthodes générales.

Ces préliminaires posés, nous pouvons aborder avec fruit l'étude des procédés de teinture.

On teint ou pour obtenir des fonds uniformes, ou pour faire naître par places sur des tissus donnés des colorations interrompues ou variées.

Le but de la première méthode est la teinture proprement dite. Le but de la seconde est obtenu par l'impression; on imprime quelquefois la préparation (*mordant*), quelquefois la couleur elle-même (*enluminage*), souvent des parties qu'il faut réserver (*réserves*), souvent des substances destinées à faire disparaître des parties colorées (*enlevages*), souvent enfin des matières qui ont pour effet de convertir une couleur d'une nuance en une nuance voisine ou fort différente (*couleurs conversions*). Mais cette seconde méthode n'exclut pas la teinture proprement dite; elle n'est qu'un cas particulier de l'art de la teinture qui, presque toujours, à moins qu'on ne fasse que des colorations plastiques, exige comme complément la teinture elle-même. Occupons-nous des opérations de la teinture elle-même, c'est-à-dire de la coloration qu'on obtient par l'immersion de l'étoffe entière dans un bain de teinture ou successivement dans des bains de teinture, et de préparations convenablement choisies.

Les matières premières, telles que le coton, la laine, la soie, le lin, le chanvre qui sont destinés au tissage ou à l'emploi direct, doivent être teintes par cette méthode; les tissus, les draps, les étoffes de soie et celles de coton se teignent aussi fort souvent par cette méthode, mais la couleur n'a plus alors ni la même solidité, ni la même intensité; les filaments qui composent le fil ont reçu par le tissage et la filature une torsion qui ne permet pas à la couleur de pénétrer aussi profondément que lorsque la matière est brute. Ce dernier modo de travail est beaucoup plus économique, puisqu'il absorbe moins de matière colorante; mais à la consommation on ne tarde pas à distinguer une étoffe teinte en laine d'un drap teint en pièce.

On teint encore ces matières premières en fils: c'est ce qu'on appelle teindre en *écheveaux*; cette méthode s'applique surtout à la laine et à la soie; elle tient nécessairement le milieu comme solidité, éclat et dépense entre les deux précédentes. La couleur s'applique beaucoup plus facilement que sur l'étoffe même; on emploie encore un peu moins de couleur que pour la teinture en filaments bruts en *flocons* ou en *toison*.

Les exemples que nous choisirons s'appliquent aux opérations de la teinture sur laine, sur coton, sur soie, tant à l'état de flocons qu'à l'état de fils et sous forme de tissus.

Laine. — En parlant de la laine en flocons, nous la supposerons lavée; de plus elle aura subi toutes les opérations qui suivent généralement la tonte et qui précèdent la teinture proprement dite. Mais nous dirons en deux mots cependant que le blanchiment ne s'exécute que rarement pour les laines qu'on doit teindre en masse et surtout en couleurs foncées.

La laine se teint en flocons toutes les fois qu'on veut avoir des draps solides, d'une couleur bien uniforme; il faut, toutefois, exclure la teinture en noir qui a pris actuellement une grande extension et qui se pratique sur des draps en pièce.

La teinture en laine filée satisfait aux besoins de la tapisserie, de la passementerie et du tissage de toutes les étoffes de fantaisie si nombreuses aujourd'hui, dites *étoffes de nouveautés*, qui se fabriquent sur une très-grande échelle.

Enfin la teinture en drap se donne aux draps noirs; dans les autres genres, la teinture est beaucoup moins solide que lorsqu'on tisse des fils préalablement teints.

Soie. — La majeure partie des soies sont colorées à l'état d'écheveaux. On les livre ensuite aux divers ateliers de tapisserie, de passementerie, de rubannerie et de tissage.

Coton. — Quant aux cotons, on peut les teindre soit à l'état brut, soit à l'état de fil, ce qui est l'exception, soit enfin à l'état de tissus. On colore les ouates à l'état de coton non filé, mais en quelques nuances seulement; les fils sont teints plus rarement, cependant les cotons en fil sont souvent teints en bleu pour les tissus tricotés.

Le lin et le chanvre reçoivent moins souvent que les autres matières les opérations de la teinture. On profite surtout de l'éclatante blancheur qu'ils possèdent lorsqu'on a fait disparaître la matière colorante qui les colore à l'état naturel pour les consommer à l'état blanc. Cependant les besoins du tissage pour certains piqués et quelques étoffes de lin demandent des fils teints préalablement.

§ XII. DISPOSITIONS GÉNÉRALES

d'une teinturerie.

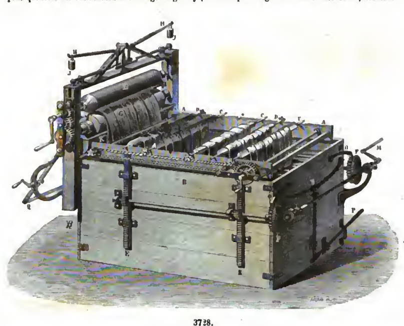
Dans une teinturerie bien installée, pour ne pas gêner le service il faut au moins trois salles affectées aux opérations de la teinture. Si l'on teint des laines, il est bon de réserver une salle spéciale pour le blanchiment ou dessuintage; on a dans tous les cas un atelier pour le bleu d'indigo qui nécessite une température déterminée, et deux chambres spéciales dans lesquelles on exécute les autres nuances de grand et de petit teint.

Le laboratoire doit être spacieux, bien éclairé, suffisamment élevé, et convenablement disposé pour la préparation des drogues qui ne sont pas faites en fabrique et pour les essais de contrôle auxquels doit pouvoir se livrer tout fabricant intelligent et soucieux de sauvegarder ses intérêts.

Les marchandises teintes, celles à teindre, celles à dessuinter, dans le cas où l'usine se charge de ce soin, doivent être séparées et placées dans des magasins distincts, les premiers à proximité des ateliers d'apprêt et des chambres où se font la vérification et l'empaquetage pour éviter les pertes de temps et la circulation inutile des produits prêts pour la consommation, qu'ils soient à l'état de fils ou de tissus.

Lorsque l'emplacement d'un atelier est arrêté,

comme il contient les bains qu'on chauffe à l'ébullition, et les cuves d'avivage ou de rinçage, il faut se réserver dans la toiture ou sur les parois la possibilité de donner à volonté des échappements aux vapeurs qui gêneraient le travail des ouvriers, ou qui retomberaient sous forme de gouttelettes entraînant les oxydes coloriés provenant du plafond ou des montants et tacheraient les tissus. Des pentes convenables doivent éconduire au dehors, sans danger pour les marchandises, les eaux de condensation et les poussières métalliques ou terreuses qu'elles peuvent entraîner. L'atelier doit être pavé proprement, avec pente pour l'écoulement des eaux; et lorsque le sol n'est pas en pierre inattaquable aux acides, il convient de l'enduire de chaux et de ciment pour que les eaux d'éclaboussures ou d'égouttages n'y on place, adossées aux murs, les caisses nécessaires à la teinture, aux préparations des tissus, aux avivages et passages aux acides; de manière que de simples robinets placés immédiatement au-dessus de chacune des caisses, dont on a limité le nombre et déterminé l'usage, puissent amener on la décoction ou la dissolution convenable qu'on prépare dans un ou des ateliers spéciaux qui peuvent n'être séparés de l'atelier principal que par un mur de refend. Sur l'autre côté du rectangle on dispose les appareils à dégorger, à laver, à rincer, etc., clapeau, plateau, battoir, etc.; ces deux séries doivent être séparées par un cours d'eau limpide, abondante, aussi pure que possible. De plus, de l'eau doit être distribuée a certaine hauteur en quantité suffisante dans tous les ateliers pour régler la densité des bains; les eaux



3728.

séjournent pas. On peut se servir de la pente naturelle pour rejeter à l'extérieur les bains épuisés; mais il vaut mieux, et pour éviter les inconvénients de la vapeur qu'ils répandent dans l'atmosphère, et pour économiser la chaleur qu'ils conservent encore, les faire éconduire par des conduits enveloppant les tuyaux d'arrivée de l'eau froide dans les bains. Dans tous les cas, tout doit être disposé pour que le travail s'exécute avec la plus grande propreté, la plus grande économie, la plus grande rapidité.

Un étendoir à l'air libre, un étendoir à couvert soit dans un hangar spacieux, soit dans un vaste grenier de manière qu'on y puisse en toute saison étendre et sécher à l'ombre les étoffes qui sortent des bains de teinture et des cuves de rinçage, sont le complément forcé de tout atelier de teinture.

Le meilleur plan à donner à l'atelier est évidemment la forme d'un large rectangle; sur une des longueurs, impures doivent être mises dehors aussi complétement que possible.

Le mode de chauffage des *bains de teinture*, on des *bouillons* employés dans l'usine intéresse au plus haut point le génie civil; jusque dans ces derniers temps, le chauffage à feu nu semble avoir été préféré; mais si le chauffage à la vapeur directe n'a pas été généralement admis, parce qu'il change en quelque sorte à chaque instant la composition des bains par la condensation toujours constante de la vapeur qui s'ajoute, il ne peut en être de même du chauffage indirect par double fond ou par serpentin de vapeur. Ce mode offre bien, il est vrai, quelques inconvénients qui résultent d'un entretien plus coûteux, d'une surveillance plus assujettissante, à cause des robinets nombreux qu'il faut visiter souvent et des soubresauts que l'entrée de la vapeur occasionne toujours; mais il n'y a pas d'établissement dans lequel on l'ait introduit qui n'ait

à se louer, après quelque temps de pratique, d'une grande régularité dans les manœuvres, et d'une économie notable sous le rapport du combustible.

Outillage.

Les bains de teinture, les diverses préparations qui mettent l'étoffe en état d'absorber les principes colorants des bains de teinture, les bouillons, etc., doivent être conservés à des températures déterminées pendant le temps de l'opération ; on les y maintient dans des chaudières dont la disposition, la grandeur et la nature dépendent des opérations auxquelles elles sont destinées.

Chaudières. — Les chaudières sont généralement de cuivre rouge ou de cuivre jaune ; il est urgent d'en avoir au moins une en étain destinée principalement à l'écarlate, et subsidiairement aux couleurs délicates dans la préparation desquelles la dissolution d'étain doit intervenir. Le cuivre jaune vaut toujours mieux que le cuivre rouge.

On peut substituer aux chaudières métalliques les cuviers de bois qui n'ont d'autre inconvénient que de ne pouvoir être parfaitement nettoyés après chaque opération. Cette observation perd sa valeur si la même chaudière, dans une teinturerie importante, ne sert qu'à la même couleur. Une cuve d'une grande dimension, qu'on ne peut sans perte de temps vider à la *poche*, doit être munie dans sa partie la plus déclive d'une ouverture qu'on ferme à volonté pour écouler le bain lorsqu'il est épuisé.

Il est à noter en passant qu'une grande cause de perte pour les teinturiers qui ne travaillent qu'à façon résulte généralement d'un outillage insuffisant, qui ne permet pas de réserver les bains incomplétement épuisés ; lorsque la quantité de pièces à teindre n'est pas assez grande pour enlever la totalité de la matière colorante, il faut bien perdre ce qui reste, si l'on n'est pas outillé pour réserver les bains appauvris pour des opérations subséquentes, quand elles se présenteront. Cette observation a sa valeur lorsqu'on traite des couleurs qui coûtent cher.

Les abords des chaudières doivent être faciles ; lorsqu'elles sont en métal, on peut les chauffer en dessous à feu nu ou par un double fond ; on les chauffe, lorsqu'elles sont en bois, par une circulation de vapeur. Pour plus de commodité, lorsqu'on chauffe directement, les foyers des chaudières sont placés sous un même manteau de cheminée.

Si les chaudières sont chauffées par un bouilleur, il convient de le placer dans la partie de l'atelier la plus commode pour éviter une trop longue conduite de la vapeur. Cette disposition permet de régler facilement la température des bains en plaçant au plus loin les chaudières destinées à la confection des nuances qui ne doivent pas être portées à l'ébullition. Le matériel des chaudières doit être assez considérable pour qu'on n'ait pas sans cesse à vider, nettoyer et rincer celles qui viennent de servir et qu'on destine à la teinture dans une nouvelle couleur. Il faut autant de cuves qu'on emploie de mélanges différents pour que le travail ne soit pas interrompu par un outillage insuffisant.

On dispose au-dessus de chaque chaudière, à diverses hauteurs suivant les circonstances, des perches pour faire égoutter les étoffes ou les écheveaux de laine et de soie, lorsqu'on n'en a que de petites parties à teindre ; par cette disposition le liquide qui s'écoule retombe dans la chaudière ; on passe des bâtons dans tous les écheveaux, et ces bâtons sont mis en travers sur les perches.

On doit à M. F. Deshayes un appareil ingénieux au moyen duquel on peut opérer mécaniquement la teinture en écheveaux. Nous allons le faire connaître, d'après le *Bulletin de la société d'encouragement*, t. VII, 2e série, p. 323.

Une caisse rectangulaire, en bois, en briques, ou métal contient le liquide colorant ; il peut être chauffé, soit directement, soit par une circulation de vapeur placée dans le fond de la caisse. Dans cette caisse descend à volonté, par le moyen d'un système de crémaillères, un châssis qui reçoit dans une position transversale les bâtons sur lesquels on passe les écheveaux. Ces bâtons ont une section triangulaire, une des faces légèrement courbe. Une chaîne de Vaucanson rencontrant les roues dentées qu'ils portent à leur extrémité les entraîne dans un mouvement de rotation continu circulaire, qui remplace le lissage à la main.

Deux bâtons voisins reçoivent un mouvement en sens inverse pour éviter que les écheveaux ne s'arrêtent et ne se mêlent pendant le travail. On obtient cette condition par une disposition très-simple qui consiste en deux chaînes engrenant avec les roues des bâtons alternants. Après que les écheveaux sont mis en place et les lissoirs fixés sur les tourillons réservés sur le châssis, on abat au moyen des crémaillères, et on mène plus ou moins vivement suivant la nature de la nuance qu'on désire obtenir, au moyen d'une manivelle qui commande les deux chaînes de Vaucanson.

Lorsque l'immersion est suffisante on relève le châssis, toujours au moyen des crémaillères ; on laisse égoutter, puis on procède à l'essorage.

A cet effet, la partie postérieure de l'appareil porte un bâti dans lequel sont engagés deux cylindres, l'un en bois, l'autre en caoutchouc ou en bois à surface recouverte d'une toile de fil enroulée six à sept fois, qui frottent l'un sur l'autre, en vertu d'une pression qu'on peut régler à volonté. Le cylindre inférieur porte une échancrure dans laquelle on engage successivement chacun des bâtons chargé des écheveaux qu'il porte. La partie arrondie du bâton se met en dehors, et termine la surface du cylindre ; par la rotation des deux cylindres, les fils sont comprimés, et l'excédant du liquide dont ils étaient chargés s'écoule dans une rigole pour être ramené dans le bain sans aucune perte.

Après s'être dégagés des cylindres, les écheveaux restent disposés pour recevoir une nouvelle passe.

On répète les opérations de l'immersion, du lissage et de l'essorage sans remaniement, autant de fois qu'on le juge nécessaire pour arriver à l'échantillonnage définitif.

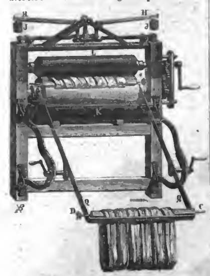
Cet appareil est représenté en vue, fig. 3728. A représente le châssis mobile qui descend dans la cuve B ; les lissoirs C et D supportent les écheveaux ; ils portent l'un une rosette, l'autre une tige unie ; E est la crémaillère qui, au moyen de la roue F, fait monter le châssis ; G est le cylindre de l'essoreuse ; H le levier qui, avec le poids J, règle la pression pour chasser le liquide des fils dans le réservoir K, en agissant sur le cylindre supérieur L ; M est la manivelle qui met en mouvement les crémaillères, N un ressort qui soulève les cliquets OO quand on veut, en mettant le pied sur le bras du levier P, faire descendre le châssis par son propre poids.

Q est une armature en fer sur laquelle glisse le lissoir, après qu'il se dégage du cylindre, lorsque les écheveaux qu'il porte ont été suffisamment essorés.

La fig. 3729 est l'essoreuse vue par derrière, dégagée de la caisse sur laquelle on la fixe ordinairement.

L'appareil de M. Deshayes conduit à des économies notables, par suite de la suppression des nombreuses manœuvres auxquelles on soumet les écheveaux dans la teinture par les procédés ordinaires. On supprime l'intervention des ouvriers dont l'apprentissage est long, souvent délicat, toujours coûteux ; enfin on donne à chaque brin, d'une manière régulière et rapide, la nuance demandée, quelle qu'elle soit ; enfin, on con-

serve au coton son nerf et sa résistance en évitant les torsions qui machurent les brins en contact immédiat avec les chevilles dans l'essorage à l'espart.



3729.

Lorsqu'on doit teindre des pièces d'étoffes entières, ou bien elles sont disposées sur un tour mobile au-dessus de la chaudière, mû par une manivelle, ou par un moteur mécanique placé suivant la nature du bain à des hauteurs plus ou moins considérables.

Lorsqu'on craint que l'étoffe ne se crispe on l'enroule sur un cylindre de bois qui s'ajuste par ses extrémités sur deux fourches en fer assujetties sur la plate-forme du fourneau. On peut encore faire usage de la machine à foularder ou à plaquer dont nous avons déjà donné la description.

On se sert pour dégorger, rincer, laver et sécher des appareils que nous avons déja mentionnés lorsque nous avons traité du blanchiment. Nous n'aurons qu'à dire quelques mots des conditions auxquelles doivent satisfaire les étuves ou les séchoirs.

Séchoirs. — Lorsqu'on applique sur des tissus des couleurs délicates, il faut les sécher promptement; on obtient ce résultat en portant les objets teints dans les *chambres chaudes;* ce sont de vastes chambres, chauffées avec des poêles ou des courants d'air appelés, soit par des ventilateurs, soit par des foyers spéciaux, soit enfin par des calorifères à eau chaude ou à vapeur.

La chaleur doit s'y répandre uniformément, le renouvellement de l'air doit être facile et la température variable de 35 à 45 degrés suivant la nature des opérations.

Quand on a des soies à dessécher, en les suspend sur une perche mobile qu'on nomme *branloir* et qui, renouvelant l'air par agitation, hâte la dessiccation.

Lorsque la chambre chaude a la largeur suffisante (4 à 5 m.), les pièces sont étendues par les deux bouts, dans le cas contraire, le cadre qui supporte les pièces est circulaire et la pièce est alors dite en *limaçon;* elle tire ce nom de la forme spirale qu'affecte l'étoffe à sécher. Comme on a besoin de soufrer quelques tissus, et qu'on peut avoir à reprendre des tissus reteints qu'il faut épingler sur un métier, on se réserve dans deux parties de l'étuve un soufroir distinct et un emplacement libre pour le métier lui-même.

Nous ne saurions indiquer ici ni le nombre ni la forme des instruments spéciaux que le teinturier doit avoir sous la main, mais il faut surtout qu'il soit muni de thermomètres et d'aréomètres qui lui serviront à régler d'une part la température de ses bains, et d'autre part la force des décoctions ou des bouillons.

Pour éviter les taches que les objets teints recevraient nécessairement s'ils se trouvaient en contact avec le fer, dont l'oxydation est si facile en présence de l'humidité, tous les ustensiles destinés au transport, à l'égouttage, au dépôt des tissus doivent être en bois sain, à moins qu'on ne les établisse en pierres inattaquables aux acides. Les brouettes et les barquettes doivent être chevillées en bois sans fer; les banquettes doivent être en planches ou en maçonnerie revêtues de ciment hydraulique.

MANIPULATIONS. — Qu'on s'occupe de la teinture des laines, des soies, du lin ou du chanvre, les manipulations qu'il faut leur faire subir sont à peu près les mêmes, et les seules différences qu'on remarque tiennent plus à l'état sous lequel se présente la matière textile, flocons, toison, fils ou tissus. On appelle *mise* la partie qu'il faut teindre.

Si la laine est en toison ou en flocons, on peut l'enfermer dans des filets à fortes mailles qui forment un paquet; on pose sur la chaudière une espèce d'échelle très-large dont les échelons sont fort rapprochés, et l'on y met la laine pour l'égoutter, l'éventer, ou pour la changer de bain.

Nous avons dit comment on opérait lorsque la teinture s'effectue sur des écheveaux; on passe des bâtons dans chacun des écheveaux qu'on manœuvre plus ou moins rapidement; on trouvera tome II de ce Dictionnaire, article TEINTURE, les noms, formes et figures qu'on donne aux écheveaux suivant les besoins de l'opération; nous ne les répéterons pas ici. On fait tremper, en les tournant sur des bâtons placés en travers des chaudières pour que chaque portion plonge à son tour, les fils soutenus par ces bâtons qu'on nomme *lissoirs*.

Lorsqu'on teint les tissus et les fils, il faut les tordre pour exprimer l'excédant du bain maintenu par imbibition et capillarité. On se sert d'une pièce de bois cylindrique scellée par un bout dans un mur, simplement enclavée quelquefois dans la mortaise d'un poteau et qu'on nomme *espart*. La tête de l'espart est arrondie et polie.

On appelle *brevet* l'addition faite à un bain de composition déterminée des matières qui lui donnent ses qualités; on se sert d'un *râble* pour opérer le mélange du bain, et pour maintenir en suspension les résidus insolubles qui se déposent au fond des cuves.

Nous en savons assez maintenant pour décrire les manipulations générales auxquelles donnent lieu les opérations de la teinture. Ces opérations ne sont ni difficiles ni compliquées; elles ont pour objet de mettre la substance qu'on veut teindre au contact des matières colorantes qui sont en dissolution dans le bain, de faire concourir les actions de l'air, de la lumière, de la chaleur soit à la fixation du principe utile, soit à leur développement, soit à leur éclat, et d'éliminer avec soin celles qui sont nuisibles et qui par conséquent n'ont pas été fixées.

Lorsqu'on opère la teinture sur les étoffes tissées, qu'on a plusieurs pièces entières, on les enroule sur le tour dont nous avons déjà parlé. On commence par enrouler sur le tour le commencement de l'étoffe, le faisant tourner promptement, on le charge d'une pièce, ou de

plusieurs pièces réunies bout à bout, si le tissu n'est ni trop lourd ni trop épais. On le tourne ensuite à contre-sens pour que la partie plongée la première le soit la dernière à la seconde immersion, et que par là la teinture soit aussi régulière qu'il est possible. Il arrive souvent que pour des pièces qui absorbent facilement la couleur et qui sont teintes en foncé, on se borne à passer l'étoffe en boyau sur la tour qui n'est plus cylindrique mais à section polygonale, et qu'on fait agir comme lissoir. Le mouvement que reçoit le tour ou trinquet fait plonger alternativement dans le bain toutes les parties de la pièce ou des pièces qui sont réunies.

L'art de la teinture comme le plupart des industries possède son langage d'atelier qu'il faut connaître et sur lequel il faut s'entendre; nous donnerons actuellement, pour abréger les descriptions qui vont suivre, l'explication de la plupart des termes employés dans le plus grand nombre des teintureries des villes. Nous les classerons par ordre alphabétique.

A ces termes nous en ajouterons d'autres qui représentent chacune des phases diverses par lesquelles la matière à teindre doit passer.

Abattre la mise, c'est faire descendre la fibre, tissu, fil ou flocon dans le bain; cette même expression sert encore pour indiquer l'opération pendant laquelle on retire la fibre du bain de teinture, avant de l'éventer.

Apprêter, c'est communiquer aux articles à teindre plus d'affinité pour les substances colorantes au moyen des mordants; ce sont des intermédiaires tendant à les unir, à les combiner chimiquement en plus grande quantité avec plus de solidité; c'est, en un mot, chercher par des intermédiaires spéciaux à rendre les couleurs plus belles, plus intenses et surtout plus fixes.

Nous ne saurions encore parler actuellement d'une autre sorte d'apprêts qui ne s'appliquent que lorsque le tissu est confectionné; ils ont pour but de lui donner une fermeté, un brillant, un coup d'œil favorables à la vente, comme de le disposer et de le plier afin de le conserver et transporter plus facilement.

Les apprêts qui procèdent du mordançage, et dont nous avons déjà fait connaître l'utilité sous le nom de *mordants organiques*, sont de plusieurs sortes : on distingue depuis longtemps, selon les termes de l'atelier, des *apprêts gras* et des *apprêts maigres*.

On range parmi les premiers : les bains *animalisés* (bains *bis*, bains de *fiente*), les bains *huileux*; (blancs ou jaunes), et les *sickious* on classe dans les seconds : les bains *alcalins* et les bains *astringents* (de galle, sumac, cachou, noua, dividivi, etc.).

Il serait plus convenable, dans l'état actuel de l'art de la teinture, d'étendre cette division et de distinguer comme nous l'avons proposé les *apprêts gras* : 1° bains animalisés; 2° bains sickious; 3° bains blancs; 4° bains jaunes, qui ne se donnent qu'après des bains astringents et des mordants, et les *apprêts maigres* ; 5° les astringents, comme les bains de galle, etc., qui en général dans les ateliers sont connus sous le nom d'*engallage*, quoiqu'ils ne soient que très-rarement préparés avec la noix de galle seule ; 6° les apprêts résineux, nouvellement introduits et utilement appliqués avant plusieurs teintures métalliques ; chacun de ces apprêts sera conséquemment indiqué à l'article teinture de chaque différente couleur, puisque en effet ils varient de nature, de propriétés, de force et de nombre, selon la genre et l'espèce, le ton et la qualité des couleurs, soit grand teint, bon teint et petit teint. Il est bien entendu que ces trois grandes divisions de la qualité du teint ont des intermédiaires qui résulteront de la superposition de nuances de teints différents ; on donnera, par exemple, *un pied de bon teint* dans quelques procédés de bon marché, pour finir en petit teint.

Aviver, c'est soumettre à certaines opérations les étoffes quand elles ont subi l'action des bains colorants ; il est extrêmement rare qu'une teinture n'ait pas besoin au moins d'une opération ultérieure pour être belle, pour acquérir toute sa pureté, ou pour être échantillonnée rigoureusement ; tantôt il faut la débarrasser, indépendamment de ce que les mordants peuvent avoir apporté, du dissolvant même de la substance colorante fixée; tantôt il faut vivifier cette substance même, alliée naturellement à d'autres principes, et souvent il faut le concours de plusieurs opérations instantanées ou successives pour arriver à ce résultat; l'ensemble de ces opérations se nomme *avivage*. Les lavages et rinçages ne font qu'enlever les parties les plus grossières non fixées et les résidus insolubles qui salissent l'étoffe teinte.

Pour choisir un exemple que nous emprunterons à l'industrie du garançage (teinture en rouge de garance), il reste toujours aux teints de garance une nuance fauve qui absorbe en partie, qui cache, couvre et ternit la couleur rouge principale ; et lorsqu'on fait usage de certains mordants, la séparation de ces deux couleurs est un problème hérissé de difficultés.

La partie fauve de la garance ne peut pas s'enlever par l'action seule des alcalis, de l'avivage ; il faut y joindre et y faire concourir aussi l'action des acides, et le *rosage* est nécessaire pour en débarrasser et purger pour ainsi dire complétement la couleur; cette opération est le complément de l'avivage; ces deux opérations, dans ce cas, sont inséparables, et elles concourent mutuellement à la perfection de la couleur que la première prépare, prédispose, et que la seconde finit. L'avivage se termine par le rosage ; il comprend l'intervention d'un acide ou d'un sel acide, agissant sur les couleurs grand teint du moins, par une action spéciale au sel d'étain ou d'un acide sur la couleur débarrassée des principes fugaces que contient la racine de garance ; comme ce mot l'indique, on a donné plus d'extension à cette expression technique.

Cheviller, c'est tordre à la cheville, c'est-à-dire exprimer par torsion autour de l'*espart* la partie du liquide qui n'a pris que par capillarité l'adhérence avec la fibre textile.

On sait aussi que le travail des soies exige une opération particulière à laquelle on donne le nom de *chevillage*. Le chevillage consiste dans une sorte de traction à laquelle on soumet les écheveaux après le teinture pour les rendre lisses ; on opère généralement sur des matteaux pesant de 4 à 500 gr.; avec plus on risquerait d'altérer la soie par suite des efforts qu'il faudrait exercer sur un diamètre trop considérable.

Pour cheviller à la main, l'écheveau passé dans la cheville est enroulé sur lui-même tordu, détordu et tordu de nouveau, quand on a déplacé les points en contact avec la cheville. C'est un travail excessivement pénible, qu'on n'avait fait que de main d'homme jusqu'à ces dernières années, et qui s'exécute maintenant mécaniquement, au moyen d'un appareil ingénieux que j'ai vu fonctionner à Lyon dans plusieurs teintureries importantes. Je dois à l'obligeance de M. Guinon de pouvoir donner un aperçu du mécanisme au moyen duquel on remplace le travail de 10 hommes. Le travail dure de 2 à 6 minutes ; pour les soies cuites, il n'est que de 2 à 3 minutes; pour les soies simplement assouplies, il dure de 5 à 6 minutes.

On doit à M. Guinon de Lyon la disposition qui permet d'éviter à l'ouvrier une manœuvre excessivement fatigante, quand il faut enlever ou retirer les soies chevillées, ou quand il faut soulever le poids de 100 kil. pour rapprocher les chevilles et passer une nouvelle série de matteaux.

Le dessin d'autre part représente (fig.3730) l'ensemble du mécanisme; les organes qui concourent à son fonctionnement peuvent être essentiellement variables. A

est une cheville horizontale en acier poli tournant autour d'un axe; elle est placée immédiatement au-dessus d'une seconde cheville B coudée, pouvant recevoir un mouvement de rotation autour d'un axe vertical. Ce mouvement permet à l'écheveau pris entre les deux chevilles de se tordre sur lui-même; l'effet de la torsion raccourcit le fil; la cheville B peut donc s'élever en entraînant un poids de 400 kil. C, qui remplace l'effort musculaire de l'homme. Huit systèmes de chevilles semblables sont juxtaposés et forment une sorte de batterie. La figure ci-dessous n'en représente que six, faute de place. Les chevilles enfermées sont mises en mouvement au moyen d'une crémaillère horizontale D, animée d'un mouvement de va-et-vient qui communique à la tige verticale le mouvement circulaire alternatif devant faire monter et descendre le poids en tordant la soie sur elle-même.

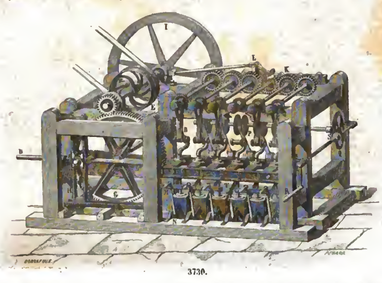
Le moteur est tel qu'on le voudra: ici c'est une poulie Q, engrenant avec un pignon qui commande une roue G. Cette dernière est liée par une glissière H à la crémaillère D, qui reçoit de la sorte un mouvement alternatif de va-et-vient horizontal. I est un volant monté sur l'arbre moteur qui donne en outre aux roues K un mouvement circulaire intermittent au moyen du levier à rochet L. M (fig. 3731 et 3733) est

Débouillir, c'est traiter pour les préparer à la teinture les fibres textiles qu'on doit immerger dans les bains colorants; on distingue dans la pratique en grand, des débouillis variables avec la nature de la teinture qu'on veut appliquer au coton filé; mais à titre plus général *débouilli* se dit de certains liquides de composition déterminée, à l'aide desquels on pourra classer les couleurs en couleurs *grand et petit teint.*

Pour les couleurs de grand teint, sans exception, le débouilli se fait avec des lessives alcalines de 4 à 2 degrés dans lesquelles on ajoute des bains gras dits *onances sickious*, les résidus de l'opération du dégraissage, ou directement une certaine quantité d'huile; l'opération se fait dans une chaudière autoclave.

Pour les cotons destinés à être teints en bleu de cuve, en jaune de gaude, de quercitron, en vert de bleu de cuve et quercitron, en noir, etc., de bon teint, on se contente généralement d'un débouilli à l'eau pure et à vase découvert.

Pour les couleurs ou nuances vives et claires de bon teint en général et pour quelques-unes de petit teint, outre le débouilli on donne un demi-blanc, ou même un blanc fin, sur le pré de préférence ou par le chlorure de chaux suivi d'un vitriolage, selon les procédés déjà décrits.



3730.

une poignée assemblée au point N, avec un levier tournant au point T, chargé à son extrémité d'un contrepoids O; en élevant le point N, le galet V tourne sur son axe et relève le poids dont l'effort est diminué par la masse O. Cette dernière est manœuvrée facilement et sans effort au moyen d'une corde et d'un tambour P de la roue Q et de la manivelle R qui met en mouvement un pignon monté sur l'arbre S. U représente le pignon que commande la crémaillère.

Les figures 3732 et 3734 font voir le détail des chevilles inférieures avec leurs poids et les galets qui sont logés dans leur intérieur. Dans toutes ces figures les mêmes lettres désignent les mêmes organes ou les mêmes parties des mêmes organes.

Dégorger, ou *dégommer*, c'est enlever à l'étoffe ce qui n'y est pas bien intimement combiné et qui contrarierait dans l'opération de la teinture proprement dite. Il y a divers bains de dégorgeage; le principal en teinture de coton, en écheveaux et en grand teint est le bain alcalin et huileux de fiente de mouton. Pour dégorger ou dégommer les mordants en indiennes on emploie plutôt la bouse de vache; de là le nom de *bouser*, synonyme de passer en *bouse*.

Voyez l'article BOUSAGE de ce Dictionnaire. Pour la teinture en général, il y a d'autres agents, d'autres bains, qui remplissent le même but sur les diverses préparations et suivant le teint qu'on veut préparer. Ainsi les teinturiers distinguent, savoir: pour le grand et le

bon teint, les bains blancs, les sels, la décoction de sumac, etc., l'eau de chaux, le phosphate de soude et de chaux (*sel à bouser*), la craie, etc. D'autres sont plus spécialement affectés aux petits teints, tels que : 1° le bain faible du teint; 2° l'eau tiède; 3° le son; 4° l'eau de savon légère, etc.

Déborder, c'est enlever la soie d'un bain de teinture ou d'eau de savon pour la laver; on donne le nom de *débordure* à la petite quantité l'eau dont on se sert pour effectuer le lavage.

Donner un brevet, c'est ajouter au bain des matières nouvelles.

Donner un bouillon, c'est amener par une passe l'étoffe à l'état de tissu mordancé. Dans les opérations de garançage, on appelle *bouillon* le bain de mordant, alumineux ou ferrugineux; on nomme *rougie* le bain de garance.

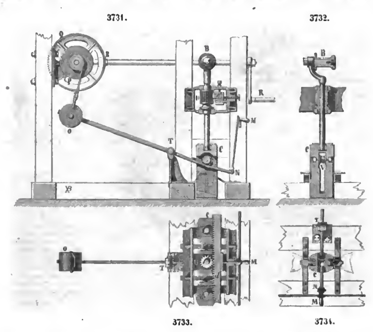
Donner une passe, c'est immerger une étoffe, un écheveau, un fil même, dans un bain de teinture ou dans faisant glisser sur les lissoirs pour mettre alternativement toute la longueur des fils en contact avec les bains ou les bouillons.

Mordancer, c'est préparer en les immergeant dans un bain convenablement composé les tissus qui ne se chargeraient pas de couleur lorsque cette couleur exige pour se fixer le concours d'un intermédiaire. Nous ne reviendrons pas sur la signification de cette expression qui, comme nous l'avons déjà dit, ne peint pas à l'esprit d'une manière exacte les phénomènes qui se passent pendant l'immersion ou l'acte de la teinture.

Pallier, c'est remuer avec le râble le dépôt qui se forme quand on ajoute au bain un nouveau dosage pour former un tout homogène; on pallie souvent un bain dans lequel on n'a rien ajouté pour éviter que le marc ne s'attache à la cuve et n'occasionne des soubresauts.

Ronger, c'est enlever au moyen d'une composition alcaline, acide, dégageant du chlore ou cédant de

3731. 3732.



3733. 3734.

une préparation métallique, lorsque la teinture exige pour être complète deux ou plusieurs immersions ; on obtient ainsi les bleus, les noirs etc. par deux, trois ou quatre *passes*.

Donner un pied, c'est donner une première teinture à des étoffes ou des fils qui doivent être rechargés d'une autre nuance pour obtenir une couleur composée binaire. Les noirs grand teint reçoivent ainsi généralement un *premier pied de bleu* de cuve.

Éventer la mise, c'est battre la mise, la mettre en contact avec l'air atmosphérique, en l'agitant le plus possible pour renouveler les surfaces et développer les réactions dans lesquelles l'oxygène doit intervenir.

Lisser, c'est faire tourner les fils à teindre en les l'oxygène une couleur déposée sur un tissu. C'est agir avec beaucoup plus d'énergie qu'on ne le fait pour *virer*, ou pour débouillir. Bien que cette expression de rongeant, synonyme d'altérant, d'enlevage, soit plus usitée dans l'impression sur étoffes, on s'en sert souvent pour la teinture proprement dite; elle devient synonyme alors de débouillir. On enlève par les altérants les couleurs des tissus qu'on reporte à la teinture pour en modifier la nuance. Les bains de chaux pour quelques couleurs métalliques, les chlorures de potasse, de soude et d'ammoniaque, les acides oxalique, tartrique, citrique, acétique, etc., sont employés comme *rongeants*. Leur degré de concentration est proportionnel à leur force, et tel rongeant étendu ne sert que pour blanchir

un tissu garancé, lorsque, plus concentré, il produit des enlevages.

L'acide hypochloreux libre peut être employé dans ces conditions, si l'on tient compte de la décomposition de l'hypochlorite de chaux en présence des sels de zinc.

En décomposant un équivalent d'hypochlorite calcique par un quart, un demi, ou un équivalent entier de sulfate zincique, on obtient un liquide d'une force blanchissante de plus en plus énergique, et qui finit par présenter tous les caractères d'une solution d'acide hypochloreux pur.

Les tissus passés dans ce bain dilué s'y blanchissent parfaitement sans que la nuance des rouges et des roses se ternisse; ils paraissent, au contraire, s'y aviver. Cette méthode est de beaucoup préférable à celle proposée par M. Steinbach, il y a quelques années seulement. Lorsqu'on applique une solution d'hypochlorite de chaux sur les pièces à blanchir, et qu'on les sèche ensuite sur des tambours chauffés à la vapeur pour convertir le sel en chlorate et chlorure, on arrête une action ultérieure; mais cette nouvelle application à l'art de blanchir les tissus garancés offre l'inconvénient de brunir sensiblement les rouges et les roses.

Roser, c'est porter au rose, et en généralisant éclaircir, vivifier, développer, exalter une couleur bon teint ou petit teint. On emploie quelquefois aussi par analogie ce terme pour désigner l'action du savon seul, employé directement après l'avivage.

Roser une étoffe ou toute autre matière à teindre, c'est changer le ton jaune d'une couleur rouge en une nuance qui tire davantage sur le cramoisi ou sur la couleur des roses.

Sickiouter se dit de l'opération par laquelle on passe une étoffe dans un bain de *sickieus*, résidus des bains d'apprêts huileux des grands teints; ce nom vient des schettys indiens. Cette opération se fait quelquefois après le garançage dans le but de préparer à l'avivage; ce bain a nécessairement une réaction alcaline.

Teindre, proprement dit, s'entend de l'opération spéciale et bien distincte, au moins en grand teint, par laquelle on applique la substance colorante sur l'étoffe préparée par les opérations précédentes.

Ces diverses opérations, on le sait, ne sont cependant pas toujours distinctes; dans certains cas il n'y a pas d'apprêts organiques; dans d'autres, il n'y a pas de mordançage; la teinture se confond avec le mordançage quand le mordant fonctionne lui-même comme matière colorante; dans certains cas, de petit teint par exemple, on met immédiatement le mordant avec le bain colorant, quoiqu'en général on puisse prouver qu'il y aurait un avantage réel, pour épuiser parfaitement les bains de teinture, à faire de même que pour les grands teints, ces opérations séparément, ou d'après un certain mode de pratique qui ne les confonde pas absolument. La teinture, au reste, peut être simple, lorsque la couleur est simple, double ou triple, lorsque la couleur est composée, et suivant les cas, chaque teinture devra on pourra nécessiter les opérations antérieures et postérieures à la teinture proprement dite. Nous ajouterons, pour compléter l'ensemble des observations qu'il convient de présenter ici, qu'il est souvent indispensable d'apporter à la succession des passes quelques modifications en raison seulement de la nuance ou de la teinte qu'on veut produire; il est facile de prévoir que pour une nuance très-claire toutes ces opérations doivent être un peu différentes de celles convenables pour une nuance très-foncée. C'est ainsi qu'un mordant faible bien lavé n'a besoin que d'un dégorgeage faible, et qu'on peut même s'en passer. C'est ainsi que de faibles apprêts ne suffisent pas pour une teinture corsée et que de forts apprêts sont inutiles pour des couleurs légères; de même, les proportions des principes actifs du bain doivent être nécessairement augmentées et diminuées par les mêmes motifs; les liquides employés pour *aviver*, *roser* ou *virer* les teintes faibles, un lilas clair par exemple, n'ont pas besoin d'autant de force, *du même degré*, et du *même bouillon*, que pour les nuances fortes, un violet pur et un plus foncé; ce sont des observations de pratique auxquelles on pourrait en joindre quelques autres, qu'il serait impossible même de résumer ici, mais qui conduisent au succès complet des opérations.

Virer, c'est modifier par un dissolvant faible ou non la nuance que la teinture présente quand elle ne correspond pas à l'échantillon donné. Le virage opère une sorte de conversion. Le bain qui le produit a pour but, presque exclusivement dans les petits teints, de modifier la couleur directement par un sel avec excès de base ou d'acide pour l'amener soit à la nuance, soit au ton donné; ainsi, par exemple, en passant une couleur jaune de gaude dans un bain acide, ou la détruit en apparence, elle devient blanche; mais en observant que la couleur n'est nullement enlevée du tissu, qu'elle n'est que virée, et qu'en passant dans un bain alcalin, le jaune reparaîtrait très-intense, on voit là l'exemple d'une nuance mixte où trop de jaune dominant sur l'échantillon peut être viré proportionnellement par un acide pour la ramener au ton demandé.

L'alunage qu'on donne à quelques couleurs de grand teint, après un avivage et même après un rosage, sur les couleurs puce, palliacat, mordoré, girofle, mauve, etc., fait encore l'effet d'un bain de virage, utile ici pour échantillonner; il s'applique aussi comme rosage et comme mordant; l'alunage, dans les dispositions convenables, a aussi la propriété d'augmenter le poids du coton, et on le donne encore quelquefois en vue de cette seule spéculation par question d'économie.

§ XIII. De la teinture

considérée sous le rapport des procédés pratiques qu'elle met en usage.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer vont nous permettre d'exposer rapidement les opérations de la teinture en les appliquant aux diverses nuances qu'on produit journellement dans les ateliers. Les manipulations de la teinture, quoique peu variées et paraissant très-simples, exigent néanmoins des soins particuliers, une surveillance incessante et un coup d'œil très-exercé, qui permette de juger les qualités du bain, la température, la force, le degré d'appauvrissement des dissolutions, d'éliminer toutes les circonstances qui causeraient des inégalités dans les nuances, de déterminer avec précision si les nuances qui sortent du bain sont conformes à celles qui servent d'échantillon, enfin de graduer entre une série de nuances les différences que le commerce et la mode imposent au fabricant.

Pour échantillonner, il faut une très-grande habitude, et si cette opération, déjà difficile pour les lainages, offre de bien grands obstacles pour les couleurs claires, il faut un œil bien exercé pour juger sur soie et sur coton les couleurs foncées rabattues, surtout celles qui ne prennent leurs tons qu'après un avivage nécessité par les matières tinctoriales employées.

Appliquons actuellement les connaissances que nous avons acquises aux procédés de teinture applicables à la laine, à la soie et au coton.

Il nous semble inutile de donner dans cet article de nouveaux dosages; les recettes qu'on trouvera dans le deuxième volume de ce Dictionnaire, fournies par un habile praticien, nous ont paru suffisantes. Nous n'aurons donc à nous préoccuper des dosages usités pour la teinture de la soie, de la laine et du coton, qu'au-

tant qu'elles seront nécessaires à l'exposé des méthodes.

Nous devons ajouter, d'ailleurs, comme réserve s'appliquant aux diverses recettes, que leur efficacité dépend en général de la mise en pratique des tours de main et de la qualité des matières colorantes employées.

Les tours de main connus des ouvriers ne se décrivent pas, et telle indication suffisamment précise pour celui qui sait, pour l'homme du métier, est obscure et souvent incomplète pour celui qui n'est pas initié. Dans tous les cas, les prescriptions que nous donnerons ne doivent être considérées que comme des exemples dont il convient de ne pas trop s'écarter pour obtenir une couleur donnée.

1. TEINTURE EN ROUGE.

La couleur rouge, comme nous l'avons vu, s'obtient avec différentes matières prises dans le règne végétal ou dans le règne animal; quelques-unes sont empruntées aux matières préparées artificiellement. Les rouges tirés de ces diverses substances varient dans leur teinte suivant leur origine et celle de la matière qui les fournit. On n'a pu jusqu'à ce jour les remplacer l'un par l'autre, en préparant au moyen de toutes les matières tinctoriales rouges une couleur uniforme.

Garance.

Lorsqu'on se sert de garance, toutes les opérations doivent être soignées, et de plus la qualité de la garance, sa provenance, parfaitement connue; tantôt, en effet, elle donne des nuances d'un rouge très-vif, tantôt, au contraire, elle ne produit que des nuances à reflets violacés ou jaunâtres, qui ne sont acceptables ni les uns ni les autres. Des observations précises ont permis d'expliquer ces effets et la richesse comparative des diverses garances; nous allons les résumer d'après M. Persoz.

La garance doit être envisagée sous le point de vue de son origine, sous celui de son âge et sous celui des altérations qu'elle a pu subir. Il est admis aujourd'hui qu'en employant pour une teinture en garance l'eau distillée d'une part, et de l'autre une garance provenant de terrains siliceux, on n'obtiendra pas de couleurs solides; tandis que la même garance, traitée par des quantités convenables de carbonate de chaux, ou mêlée d'une garance provenant de terrains calcaires, donnera les teintes les plus vives et les plus capables de résister aux agents atmosphériques lorsqu'on y aura recours pour aviver et blanchir les couleurs garancées. La craie semble un élément indispensable à la teinture en garance.

Entre les garances Paluds qui sont calcaires et celles d'Alsace qui ne le sont pas, il se trouve un grand nombre d'intermédiaires dont on n'aurait pas à s'occuper, s'il était possible, sans dépense inutile, de dépasser certaines limites dans la proportion de craie qu'il faut ajouter aux bains; mais il est constant que la craie fait fonction de base et qu'elle appauvrit le bain en précipitant à l'état de laque une quantité considérable de l'élément utile. Il faut donc tenir compte et de la craie que contient la garance et de celle qu'apportent les eaux dont on fait usage.

En ce qui concerne l'âge, il résulte d'observations anciennes que les garances d'un certain âge sont plus favorables à la teinture que les garances récemment récoltées. Il faut faire intervenir le développement des racines.

Lorsque les eaux dont on fait usage sont pures naturellement ou proviennent de la condensation des machines à vapeur, comme on s'en sert généralement pour alimenter les bains de teinture, cet élément n'a que peu d'importance; mais il n'en est plus de même lorsque ce liquide se trouve mêlé de substances salines provenant du sol qu'il traverse pour arriver au jour. Quand les eaux sont chargées de calcaire à l'état de bicarbonate, on les en dépouille ou par l'ébullition ou par l'addition d'une quantité de chaux égale à celle que contient le bicarbonate, ou par une addition de potasse et de soude, ou par du son de froment, ou par une petite quantité d'acide sulfurique ou d'acide oxalique. S'il y a tout à la fois du bicarbonate de chaux et du chlorure de calcium, l'addition de la potasse précipite toute la chaux; il se forme d'abord du carbonate de chaux et du carbonate de potasse qui, réagissant sur le chlorure de calcium, forme du chlorure de potassium et du carbonate de chaux; il s'ajoute au carbonate de chaux provenant du bicarbonate primitif. Il faut éviter cependant l'excès de carbonate de potasse. Si tout le sel n'est pas précipité par l'addition de la potasse, on peut, et c'est préférable, ajouter une certaine quantité de savon. Ce moyen est plus dispendieux.

Le mieux est dans beaucoup de cas de mettre la garance en présence de matières qui possèdent, comme les principes colorants de la garance, la propriété de précipiter la chaux, mais qui n'ont pas une aussi grande valeur; c'est ainsi qu'on explique l'addition du sumac et du quercitron.

Lorsque la chaux est à l'état de sulfate, on s'en débarrasse au moyen du carbonate de potasse ou de soude, qui par double échange forme du sulfate alcalin et du carbonate de chaux.

La magnésie se comporte à l'égard des réactifs que nous venons d'indiquer, comme à l'égard de la teinture, exactement de la même manière; il est donc facile d'en dépouiller l'eau; d'ailleurs, on sait que les eaux magnésiennes se présentent beaucoup plus rarement que les eaux calcaires.

Au point de vue de la teinture en rouge au moyen de la garance, le fer est un des éléments les plus nuisibles, car non-seulement il appauvrit les bains, mais il altère et fait grisonner les teintures; on s'en débarrasse par le phosphate de fer ou par la crème de tartre; il est indispensable de surveiller avec attention les eaux même les meilleures, qui par suite de crues accidentelles peuvent charrier ou dissoudre quelque peu d'oxyde de fer.

On a cherché par des expériences directes à se rendre compte de l'action qu'exerce la craie dans les opérations du garançage, lorsqu'elle a pour effet d'ajouter à la garance d'Alsace un pouvoir qu'elle n'a pas par elle-même; on s'est demandé si ce corps satura un acide dont l'existence est signalée dans le garançage, ou s'il devient partie intégrante de la combinaison colorée qui se combine avec le tissu lui-même. M. Persoz n'admet pas que la première raison soit sérieuse, car s'il n'y avait qu'un acide à saturer, tout autre corps que la chaux conduirait au même résultat: or l'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi. Au surplus, il a prouvé que dans l'acte du garançage il y a, lorsqu'on ajoute de la craie, fixation d'une certaine quantité de chaux qu'on retrouve dans les cendres, avant comme après l'avivage.

Non-seulement la chaux est remarquable par la nature de son action sur les bains de teinture, mais même les acides et les alcalis ont une influence très-notable; elle est en sens contraire de celle que la chaux paraît exercer. D'après des essais publiés dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse*, les alcalis diminuent le rendement des garances et les acides nitrique, acétique, etc., en font autant. Quant aux oxydes, il est remarquable, comme M. Schlumberger l'a déjà fait voir, que l'oxyde, l'hydrate et le carbonate de cuivre, annulent complétement le pouvoir colorant d'une garance.

Il est digne de remarque que les acides cependant redonnent une certaine force à des bains de garance épuisés, lorsque ces acides, comme les acides sulfu

rique, oxalique forment des sels calcaires insolubles. Il est vraisemblable d'admettre que le bain se charge d'un précipité de chaux avec la matière colorante, et que cette dernière ne se trouve mise à nu que par le déplacement qui résulte de l'addition de l'acide.

Le garançage proprement dit se compose d'opérations distinctes, le bouillon et le rougie. On pratique le bousage sur calicot et l'avivage sur toute teinture de garance. L'opération est quelquefois simple; la première teinture prend le nom de *rosérage*, et la seconde celui de *garançage proprement dit*. Cependant cette distinction ne se fait pas toujours, parce que le fabricant a tout intérêt à rechercher une économie de main-d'œuvre.

Il ne faut pas élever à l'ébullition la température de la rougie, c'est-à-dire le bain de garance, car on a remarqué qu'avec la chaleur, le principe jaune se fixait sur la laine. En supposant qu'on ait à teindre de la laine en flocons, on compose le bouillon de la manière suivante, en prenant 100 kilogr. de laine pour base du calcul, 25 kilogr. d'alun, 6 kilogr. de tartre. Quand la matière est dissoute, on plonge la laine pendant trois heures dans la chaudière, qu'on amène progressivement à l'ébullition, puis on la place, après l'avoir lavée, dans des barques ou paniers, pour qu'elle reste sept à huit jours dans un endroit humide et fermé. Il faut éviter un excès de tartre qui ferait jaunir.

Pour faire la rougie, on mettra 50 kilogr. de garance d'Avignon extra-fine. On *pallie*, puis on plonge la laine qu'on mène et qu'on mouille également. On lave avec soin pour éliminer les parties ligneuses qui se fixeraient entre les filaments. On ajoute au garançage quelques kilogrammes de composition d'écarlate pour faire virer au rouge et donner à la teinture, en même temps que de l'éclat, de la solidité.

Lorsqu'on travaille sur des pièces, le bouillon, pour une pièce de 20 mètres qui pèse de 18 à 20 kilogr., contient 3.5 kilogr. d'alun et 1 kilogr. de tartre.

On fait bouillir pendant trois heures, on évente et on porte à la cave. La rougie se fait avec 6 kilogr. de garance et 1 kilogr. de composition d'écarlate; on mène vivement les pièces pour qu'elles ne soient pas tachées. On met beaucoup moins de garance que dans le cas de la teinture en toison, parce que la couleur, ne pénétrant que peu dans l'intérieur des fils, n'entraîne pas une aussi grande consommation. Nous avons cité cet exemple, qui est général, pour faire comprendre ce qui est déjà dit dans l'article de ce Dictionnaire.

Teinture de la soie. — D'après M. Gulilich, on obtient avec la garance une très-belle teinture en rouge en prenant pour 1 kilog. de soie 122 gr. d'alun et 30 gr. de dissolution d'étain. On laisse reposer la liqueur et on décante. On immerge la soie qu'on ne laisse séjourner que 12 heures. On a fait d'autre part une dissolution de garance avec 2 à 3 gr. bouillie dans une infusion de noix de galle. On maintient pendant une heure le bain à 60°, puis on porte à l'ébullition en donnant 5 à 6 bouillons pendant 2 minutes environ; on enlève la soie qu'il suffit de laver à grande eau pour la faire sécher au soleil. Cette couleur est vive, éclatante, solide comme le rouge d'Andrinople. L'alun peut être remplacé par une dissolution de fer qui donne une teinte violette très-riche. On peut lui donner plus d'éclat en l'avivant au moyen d'une teinture au brésil qu'on ajoute à la soie préparée par le sel d'étain, comme nous allons le dire.

Bois de Brésil.

Le rouge produit par le bois de Brésil s'applique aux étoffes communes ou tout au moins à celles pour lesquelles on ne peut exiger une grande stabilité. Les acides le font jaunir et les alcalis le font bleuir. On ne peut employer le bois en nature; l'usage est d'en faire une décoction qui permette d'obtenir des nuances vives et nourries. Il est d'usage aussi de conserver ces décoctions dans des cuves; car il est constant que le temps améliore le principe colorant contenu dans le bois de Brésil en augmentant son pouvoir tinctorial.

D'après M. Chevreul on obtient un très-beau rouge sur laine (rouge *amarante*), avec le bois de Brésil en opérant de la manière suivante: pour 10 kil. de laine, on monte la chaudière avec 2,400 gr. d'alun et 1,200 gr. de crème de tartre; on y manœuvre pendant 2 heures, on lève et on évente. On monte un bain neuf avec du brésil, puis on y lisse la laine pendant un quart d'heure à la température de 60°. Lorsque la nuance est au point voulu, conforme à l'échantillon, on lève, et on met de côté les 2/3 du bain qu'on soutire par un robinet, ou bien qu'on puise avec une poche; on refroidit avec de l'eau pure qu'on ajoute au bain pour remplacer le liquide qu'on a rejeté: on fait violeter la nuance avec de l'urine chargée d'ammoniaque. On lisse de nouveau, on lève et on lave.

Teinture de la soie. — Berthollet a fait connaître un dosage pour teindre la soie dans la nuance rouge *cramoisi* dont on s'éloigne peu même encore aujourd'hui; d'après les dosages qu'il a donnés, on prend de la soie cuite à raison de 20 parties de savon pour 100 de soie. L'alunage n'a pas besoin d'être aussi fort que pour le cramoisi solide qu'on obtient de la cochenille. On lave à la rivière et on lisse dans un bain de brésil d'une puissance déterminée par la nuance qu'on veut obtenir. Lorsqu'on a fait usage d'eau pure, de condensation de machine à vapeur, débarrassée de sels calcaires, la couleur est trop rouge, on la fait bleuir en passant la soie dans un bain légèrement alcalin ou même en lissant dans le bain additionné d'un peu de potasse. On peut encore laver dans une eau naturellement dure, jusqu'à ce que la nuance voulue ait été produite.

Pour préparer des cramoisis foncés ou bruns, on ajoute à la décoction de brésil une infusion de campêche, après que la soie a reçu un premier passage en brésil, puis on y mêle même un peu de carbonate alcalin, selon la nuance qu'on veut obtenir.

Murexide.

L'emploi de la murexide pour colorer les tissus ne date, ainsi que nous l'avons dit, que de quelques années, et l'application de cette nouvelle matière colorante, qui peut être regardée comme une conquête toute moderne, n'a pas été sans être accompagnée de nombreuses difficultés, tant dans ses rapports avec la teinture proprement dite que dans ceux qu'elle présente actuellement avec l'art d'imprimer les étoffes. Nous n'aurons pas occasion de revenir sur l'article IMPRESSION pour étoffes, très-complet dans le premier volume du Dictionnaire; nous étudierons donc, en parlant des couleurs nouvelles que la science a fournies à l'industrie, les conditions qui permettent d'appliquer à l'impression ces matières encore peu répandues.

La murexide, ou *carmin de pourpre*, ne se fixe sur les matières textiles, soie, laine, coton, fil que par l'intermédiaire des oxydes métalliques, capables de former avec ce composé des laques colorées, de véritables *purpurates* insolubles.

Les meilleurs résultats obtenus jusqu'à ce jour dans la pratique ont été fournis par l'emploi des sels de mercure pour les nuances rouges et pourpres, et par les sels de zinc pour les nuances oranges et jaunes. Il paraît indifférent de procéder comme pour les noirs en préparant d'abord avec les sels et teignant ensuite, ou bien en teignant d'abord et fixant après; il est même possible encore d'effectuer le mélange des deux matières, de filtrer et de faire passer le tissu qui s'empare de la

aque au moment de sa formation au contact de la fibre. Par exemple, on teint la soie en pourpre, lorsque après avoir mélangé de la mnrexide et du sublimé corrosif, on lisse la soie dans la dissolution; la fibre textile absorbe la matière colorante en prenant une nuance plus ou moins foncée, suivant qu'elle a séjourné plus ou moins longtemps dans le bain limpide plus ou moins concentré.

Pour teindre le laine en pourpre, on la mordance d'abord avec un sel de mercure, soit du sublimé corrosif additionné d'acide oxalique, soit du sulfate de mercure, soit du tartrate double de mercure et de potasse, préparé par l'ébullition du bioxyde de mercure avec de la crème de tartre.

A ces sels il faut ajouter, à cause de l'action réductrice de la laine, un corps oxydant, tel que l'eau de chlore, du chlorure de chaux, du perchlorure ou de l'oxychlorure d'étain. Après la préparation et la lavage de la laine, on la teint dans un bain de murexide, soit seule, soit mélangée d'un sel alcalin, comme, par exemple, d'oxalate de soude.

Pour teindre en jaune on remplace les sels de mercure par ceux de zinc.

On peut faire usage des mêmes procédés pour fixer les produits d'oxydation encore incolores de l'acide urique, comme, par exemple, l'alloxane, l'alloxantine ou la simple dissolution de l'acide urique dans l'acide nitrique. Les tissus qui en sont imprégnés acquièrent une nuance rouge lorsqu'on les soumet à une température un peu élevée (par un courant d'air chaud, par le contact avec un métal ehauffé, etc.). Pour fixer cette couleur, on passe la toile à travers un bain de sel de mercure ou de zinc.

Les produits d'oxydation incolores de l'acide urique se prêtent, suivant M. Brooman, assez facilement à la production de genres enluminés.

On teint, par exemple, une toile de coton en uni; on ronge ensuite la murexide au moyen de rongeants simples ou de rongeants mordants, qui, étant teints plus tard dans un bain d'une autre matière colorante, peuvent produire des dessins blancs, verts, noirs, jaunes, etc.

Au moyen d'une solution de murexide et de divers sels métalliques, on peut préparer différentes laques insolubles ou très-peu solubles, dont plusieurs présentent des teintes extrêmement vives et variées. Complétons les notions générales que nous venons d'exposer par des exemples pris dans la teinture en murexide de la laine, de la soie et du coton. Nous les empruntons aux communications publiées par le *Répertoire de chimie*, 1re année.

Teinture de la laine. — Les essais publiés jusqu'ici pour la teinture de la laine en murexide ont donné des résultats très-tardifs. Les meilleurs sont dus à M. Wurtz, directeur d'une fabrique de produits chimiques à Leipzig, qui les obtint en se servant de murexide préparée par MM. Depouilly frères et Cie de Paris, en suivant le procédé breveté de ces inventeurs.

On commence par nettoyer à fond les fils ou tissus de laine en leur donnant successivement des bains tièdes de carbonate de soude et de savon assez concentrés.

Ce nettoyage est tellement indispensable pour l'obtention de belles nuances, qu'il faut y porter la plus grande attention et employer des solutions alcalines aussi fortes que peut les supporter sans être altérée la fibre animale.

La laine, bien lavée, égouttée, éventée, est ensuite introduite dans le bain de teinture qu'on compose de la manière suivante :

Sur 12 kil. de laine :

Eau	350 litres.
Murexide en poudre.	500 gr.
Nitrate de plomb. . .	15,000 gr.

On délaye et dissout la murexide dans une partie d'eau tiède avant de la verser dans la chaudière; d'un autre côté, on dissout le nitrate de plomb dans 30 à 35 litres d'eau bouillante; on verse la solution dans la chaudière et on y introduit immédiatement la laine. La teinture ne s'effectue pas immédiatement, la combinaison de la laque et du tissu est très-lente.

La température du bain ne doit pas dépasser 28 degrés centigrades; on le laisse refroidir peu à peu, graduellement. La laine doit y séjourner pendant quinze ou vingt heures.

On la retire, on la rince légèrement et on la fait passer dans le bain d'avivage et de fixage, dans lequel elle séjourne de cinq à sept heures, suivant que la nuance doit être plus ou moins bleuâtre.

Ce bain d'avivage, qui est toujours froid, se compose de :

Eau.	400 litres.
Sublimé corrosif. . . .	4 kilog.
Acétate de soude. . . .	3 kilog.

Après la teinture d'une partie de laine, une autre partie ayant le même poids peut être teinte de la même nuance, si l'on ajoute aux bains les trois quarts des matières primitivement employées.

D'après M. Depouilly, le murexide peut teindre la laine en cramoisi, mais cette dernière nuance demande des soins particuliers; la laine doit être préparée convenablement. Après avoir été bien blanchie et lavée, on finit par la faire passer dans un bain d'eau de chlore très-faible. Ce passage en chlore la rend un peu jaunâtre, mais cette légère coloration ne produit point d'effet nuisible à la teinture.

On donne un premier bouillon dans une solution aqueuse de sublimé corrosif et d'acide oxalique, renfermant 4 p. 100 de sel de mercure. On leve et on teint dans une simple dissolution de murexide dans l'eau.

On peut aussi procéder de la manière suivante : On pèse des quantités égales de murexide et de carbonate de soude dans de l'eau à 60 degrés centigrades; on dissout d'abord le carbonate de soude, puis la matière colorante rouge. On rend ensuite le bain acide par l'addition d'acide oxalique, ou mieux encore, de bioxalate de potasse, puisqu'il faut éviter d'avoir un bain trop acide, qui ne se conserve pas bien; on teint à chaud à 60 ou 70 degrés centigrades.

Enfin, l'on peut aussi imprégner la laine d'une solution assez concentrée de murexide, l'exprimer fortement et la laisser sécher à l'air; on l'introduit ensuite dans un bain qui marque au thermomètre 40 à 50 degrés, et qui renferme :

Eau.	40 kil.
Sublimé.	60 gr.
Acétate de soude . . .	75 gr.

Teinture de la soie. — M. Depouilly donne les recettes suivantes pour teindre en pourpre ou en cramoisi. On chauffe de l'eau à 80 ou 90 degrés centigrades et on y dissout environ 5 p. 100 de son poids de murexide. D'un autre côté, on prépare un bain de solution aqueuse de sublimé corrosif (4 p. 100 du poids de l'eau), qu'on acidule par de l'acide acétique. Ce bain doit être parfaitement clair et limpide.

On ajoute à la solution froide de la matière colorante une quantité du bain de sublimé équivalente à trois fois le poids de carmin de pourpre employé. On teint à froid et en agitant continuellement la soie et le bain coloré, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la nuance désirée.

On avive ensuite dans une solution aqueuse froide

de sublimé, renfermant 3 p. 100 de ce sel : cet avivage est très important, puisqu'il donne de l'éclat à la couleur; on lave ensuite très-exactement, et la nuance reste d'autant plus belle que le lavage a été plus parfait.

On peut opérer d'une autre manière, qui est surtout employée pour la teinture des tissus en soie de Chine.

On dissout dans de l'eau tiède autant d'acide oxalique qu'elle peut en retenir; dans cette solution on introduit le carmin de pourpre, et dès qu'il est dissous on y verse immédiatement le bain de sublimé corrosif, composé d'après les préparations indiquées plus haut; on teint à froid.

Toute l'opération doit être exécutée avec une grande rapidité, parce que l'acide oxalique peut réagir sur le carmin de pourpre et le détruire, au moins en partie, si l'on attend trop longtemps avant d'ajouter le chlorure mercurique. Un passage en eau de savon, à 80° centigrades et renfermant en savon 30 p. 100 du poids de la soie, fait virer la couleur au cramoisi violacé.

Pour réussir dans de pareilles préparations, il est nécessaire d'employer une murexide de bonne qualité, comme celle que MM. Depouilly préparent.

Pour teindre la soie en jaune, on opère comme précédemment; seulement, au lieu de sublimé corrosif, on emploie environ la même quantité d'un sel de zinc quelconque, pourvu qu'il soit aussi neutre que possible. Après la teinture, on passe la soie dans une solution de carbonate de soude tellement faible qu'elle marque à peine à l'aréomètre, et on finit par un lavage des plus soignés.

Impressions en murexide. — L'application de la murexide dans l'impression des laines présente des difficultés toutes particulières, cette matière colorante ne supportant pas le vaporisage et ne pouvant par conséquent point être imprimée conjointement avec d'autres couleurs-vapeurs. M. Th. Wurtz annonce cependant avoir réussi à préparer des laques de murexide qui permettent d'imprimer sur laine, conjointement avec d'autres couleurs, la pourpre dans toutes les nuances, depuis le pourpre foncé jusqu'au rose clair le plus vif.

La murexide est employée pour l'impression sur coton; voici, d'après M. Kopp, la méthode proposée par M. Lauth : on commence par fixer sur le tissu de l'oxyde de plomb, soit en plaquant en acétate de plomb, séchant et passant dans une solution d'ammoniaque caustique, soit en passant dans la cuve au plombate de chaux (solution d'oxyde de plomb dans de l'eau de chaux). En teignant ensuite dans un bain de murexide, on obtient une combinaison de la matière colorante avec l'oxyde de plomb. Mais ce purpurate de plomb fixé sur le tissu ne présentant par lui-même une nuance ni suffisamment belle, ni suffisamment vive, il faut encore le transformer en purpurate de mercure. On y arrive en plongeant le tissu dans un bain renfermant 1 à 1,5 p. 100 de nitrate mercurique, de sublimé corrosif, ou d'un mélange de ces deux sels, avec addition d'une certaine quantité d'acétate de soude.

Pour l'impression, on prépare une couleur au épaississant du nitrate de plomb à chaud et ajoutant ensuite à froid une quantité de murexide suffisante pour obtenir la nuance désirée. On imprime, on sèche et on passe le tissu dans un bain avivant et fixant, renfermant par hectolitre d'eau 1/2 kilog. de sublimé corrosif et 1 kilog. d'acétate de soude, plus une certaine quantité d'acide acétique. D'après quelques fabricants, il est utile, après l'impression, de maintenir le tissu pendant plusieurs heures dans un endroit un peu humide, et de le faire passer ensuite à travers une chambre chauffée à 70° centigrades, et dans laquelle on fait dégager du gaz ammoniac; le passage à travers cette chambre doit être rapide : il ne faut pas qu'il dépasse une minute.

La beauté de la nuance, sa vivacité dépendent de la pureté de la murexide employée et du peu d'élévation de la température qu'elle a subie pour être fixée.

M. Kopp nous a fait connaître un second procédé. M. de Kurrer emploie la murexide en poudre ou en pâte; il procède de la manière suivante.

On prépare d'abord la couleur d'impression.

Dans 72 litres d'eau bouillante on dissout 24 kilog. de nitrate de plomb, et lorsque la solution s'est refroidie jusqu'à 62° centigrades, on y incorpore 5 kilog. de murexide sèche en poudre ou 15 kilog. de murexide en pâte en même temps que 36 kilog. de gomme pulvérisée. Le tout étant très-homogène, on fait passer à travers une toile ou un tamis fin, et on laisse refroidir la couleur qui est prête à être imprimée.

Après l'impression, les toiles sont suspendues dans un local humide, jusqu'à ce que les places imprimées se soient ramollies, puis on procède à la fixation du purpurate plombique au moyen de l'ammoniaque. A cet effet, on suspend les toiles pendant une heure dans une chambre dans laquelle le gaz ammoniac se dégage graduellement d'un mélange de chaux vive et de sel ammoniac.

Les toiles, après avoir été soumises à l'action du gaz ammoniac, sont ensuite passées par le bain de sublimé corrosif, composé de 2,600 gr. de sublimé dissous dans 1,500 litres d'eau. A cet effet, on attache trois pièces bout à bout (la pièce ayant en moyenne 45 mètres de longueur sur 1 mètre 20 de largeur), et on les manœuvre au moyen du tourniquet dans le bain chauffé. Pour trois nouvelles pièces il faut ajouter au bain chaque fois environ 100 gr. de sublimé corrosif. Si les pièces sont peu chargées, le bain peut servir avec ces additions successives du sublimé au passage de trente pièces; mais si celles-ci étaient chargées de grands dessins, il faudrait renouveler le bain après le passage de vingt pièces.

En opérant de cette manière, on obtient des impressions d'un rouge pourpre très-brillant. Pour obtenir des nuances plus claires, on n'a qu'à étendre la couleur d'impression avec du bain de gomme pure en quantité plus ou moins considérable.

Les couleurs de murexide imprimées de cette manière sur coton supportent un savonnage à 60° centigrades sans grand préjudice et peuvent même être chlorées au rouleau; mais elles ne supportent point le vaporisage, ce qui empêche d'associer la murexide aux couleurs-vapeurs ordinairement employées pour l'aluminage.

Sur toiles teintes en nuances unies par la murexide, on peut produire des dessins en modifiant la combinaison colorente au moyen d'agents oxydants ou réducteurs.

En imprimant, par exemple, un sel de zinc acide, on produit des dessins orange; avec un sel stanneux on obtient des dessins gris.

D'un autre côté, en appliquant la murexide sur toiles teintes au bleu d'indigo, au peu clair, on obtient des dessins violets, et sur une toile jaune des dessins orange très vifs.

Sur tissus de soie ou de laine teints en murexide, on peut faire apparaître des dessins jaunes en imprimant de l'acide picrique additionné d'un acide capable de détruire la murexide.

On peut préparer une couleur d'application sur coton en ajoutant à 1 litre de la couleur au nitrate de plomb 32 gr. de sublimé corrosif et autant d'acétate de soude dissous chacun dans 250 centimètres cubes d'eau bouillante. Cette couleur ne peut être appliquée qu'avec des planches ou des rouleaux de bois, les rouleaux métalliques décomposant le sublimé et altérant la nuance. Les toiles imprimées sont suspendues et éventées

pendant trois à quatre jours et lavées ensuite dans de l'eau courante.

Après le passage des pièces dans le bain de sublimé, on les suspend dans de l'eau courante, et l'on finit par le passage dans l'acétate de soude.

Le bain d'acétate de soude se compose de 3,000 litres d'eau renfermant en dissolution 1 kilog. d'acétate de soude et 1 kilog. de sel ammoniac.

Dans ce bain, on agite ensemble dix pièces pendant vingt minutes; on les retire, on les rince dans l'eau courante, on les exprime dans l'hydro-extracteur, et on les fait enfin sécher à la température ordinaire; dix nouvelles pièces sont traitées dans le même bain après qu'on y a fait dissoudre préalablement 1 kilog. d'acétate de soude.

Carthame.

Le prix élevé du carthame fait surtout réserver cette matière pour la teinture de la soie; au reste, rien de plus facile que de faire cette teinture, lorsque le carthame dont on fait usage est convenablement préparé.

Teinture de la soie. — Le carthame se combine avec la soie sans aucune préparation; l'acide carthamique est, sans contredit, l'une des matières tinctoriales les plus faciles à manier; son affinité pour la soie et le coton est telle, qu'il suffit de plonger ces matières dans une eau qui tient en suspension ce principe nouvellement précipité pour qu'elles se colorent immédiatement en un beau rose brillant.

Si l'on veut avoir des nuances très-délicates sur soie, il faut d'abord appliquer la couleur sur le coton, le laver avec soin, puis dissoudre le rose dans le carbonate de soude; il reste en contact avec le coton un principe colorant, jaune ou jaunâtre, dont la dissolution est dépouillée. Le carthamate alcalin est ensuite décomposé par un acide faible comme le jus de citron, en présence des écheveaux de soie sur lesquels on veut transporter la couleur. On obtient ainsi des roses plus purs, plus brillants, plus unis.

On peut obtenir avec le carthame la couleur *ponceau*. Il suffit de faire des passes successives jusqu'à ce que la soie cesse d'enlever au bain de la matière colorante. C'est ainsi qu'on prépare le ton le plus haut que l'on puisse préparer avec le carthame. On suit la même marche pour les cerises foncés et les nacarats; mais, en pareil cas, il faut donner un pied de rocou. Au surplus, la cochenille donne facilement sur soie les couleurs les plus vives.

Cochenille.

Les plus beaux tons rouges qu'on puisse obtenir sur laine portent le nom d'écarlate; ils ont un reflet jaune; les écarlates à reflet rouge sont connus sous le nom de ponceau. L'emploi de la cochenille est basé sur la propriété que possède la matière colorante de la cochenille de se fixer avec la dissolution de tartre ou de protochlorure d'étain. Les compositions d'étain ont, à cause de cette propriété, reçu dans l'industrie le nom de composition d'écarlate, ou même simplement d'écarlate. La préparation de ces couleurs exige, comme les autres teintures en rouge, deux opérations successives, le *bouillon* et la *rougie*. On doit choisir de l'eau pure pour le bouillon, ou du moins aussi pure que possible; on doit éviter les sels métalliques dont le plus grave inconvénient serait d'altérer la nuance. On doit se servir de bassines d'étain pour la rougie; cependant on peut faire usage de caisses de cuivre, si l'on a soin, par de fortes cordes, de maintenir les objets à teindre pour les empêcher de prendre contact avec la chaudière elle-même.

Le bouillon contient toujours une première dose de cochenille; cette précaution est indispensable pour les couleurs foncées. Lorsque le bain est préparé pour le bouillon, on y verse la dose convenable de tartre et de cochenille, c'est-à-dire pour 50 kilog. de drap, 3 kilog. tartre, 250 gr. cochenille, 250 gr. composition d'étain. On passe les pièces et on les mène pendant un quart d'heure. On ralentit et on laisse bouillir pendant une heure et demie. On lave à l'eau courante les pièces préparées par ce bouillon. On prépare un nouveau bain, dans lequel on jette à l'ébullition 2 kilog. 750 de cochenille qui vient former à la surface une sorte d'écume lie de vin. Quand cette écume crève, on rafraîchit le bain poer y passer les pièces; quelques minutes avant, on avait versé la composition d'étain sous le poids de 7 kilogrammes.

Le ton jaune de l'écarlate semble provenir de la destruction d'une partie du principe colorant rouge par suite du contact avec l'acide tartrique, ou l'acide chlorhydrique; on la regarde à ce titre comme très-coûteuse; on a cherché s'il n'y aurait pas moyen de l'obtenir avec économie par l'addition d'un principe jaune; les essais ne réussissent guère que pour les étoffes grossières. Les matières colorantes jaunes sont alors le fustet ou le curcuma; ils conduisent à des tons faux et rabattus. Quand on fait usage du fustet, on l'introduit sous le poids d'un kilogramme dans le bouillon dont les doses ont été données plus haut. Quand on fait usage du curcuma, c'est généralement avec la rougie qu'on l'introduit; dans les deux cas, on cherche l'économie de la matière coûteuse, de la cochenille, en la remplaçant pendant le travail; on diminue les doses de tartre et de composition d'étain.

Teinture des laines en écheveaux. — Comme on ne peut redouter l'inexactitude des dosages donnés par M. Chevreul, directeur des teintures aux Gobelins, nous emprunterons à ses communications désintéressées les procédés et dosages dont on se sert dans les ateliers qu'il dirige au grand honneur des sciences appliquées.

On prépare sur laine avec la cochenille, indépendamment de l'écarlate, du ponceau, du rose, de la couleur groseille, de l'amarante.

Pour teindre en ponceau pour 10 kilog. de laine en écheveau, la chaudière étant à l'ébullition, on la monte avec 600 gr. de solution d'étain pour l'écarlate, 600 gr. de crème de tartre, 400 gr. de cochenille moulue, et 400 gr. de curcuma en poudre. On y lisse les écheveaux pendant une heure et demie; on lève les laines, puis on les lave à l'eau courante. Voilà pour le bouillon.

La rougie se compose de 600 gr. de dissolution d'étain pour l'écarlate, de 200 gr. de crème de tartre, et 900 gr. de cochenille moulue. On lisse le bouillon jusqu'à la nuance; on lève et on lave à l'eau courante.

Pour les roses à la cochenille, toujours pour 10 kil. de laine, préalablement blanchie à l'acide sulfureux, puisque la nuance est très-claire, on monte le bain avec de l'eau qu'on a fait bouillir, mais dont la température n'est plus qu'à 50 degrés; on a fait dissoudre au bouillon 1 kilog. de crème de tartre et 250 gr. d'alun. On ajoute plus ou moins de cochenille ammoniacale, suivant la puissance de la nuance qu'on veut préparer; on lisse la laine la plus promptement possible; plus la manœuvre est rapide, plus la couleur est éclatante.

Pour teindre en groseille, on monte le bain avec 2 kilog. de crème de tartre, 1 kilog. d'alun et 1 kilog. de cochenille ammoniacale; la quantité de cochenille est, du reste, variable avec la nuance plus ou moins foncée qu'on veut préparer, et jusqu'à laquelle on mène la laine au bouillon, ce qui peut durer de une heure à une heure et demie. On lève, puis on rince à l'eau courante.

Pour obtenir l'amarante, on monte la cuve avec 2,400 gr. d'alun, 1,200 gr. de crème de tartre, on manœuvre pendant deux heures sur le bouillon; on lève et on évente; on fait bouillir dans le bain pendant un

quart d'heure 1 kilog. de cochenille moulue; on arrête le bouillon; on entre les laines, qu'on lisse pendant une heure. Pour assurer la nuance, on donne un bouillon pendant un quart d'heure; on lève, on évente, puis on lave à l'eau courante.

Lake-dye.

On allie souvent à la cochenille le lake-dye. On opère au moyen de deux bains distincts. Pour obtenir la couleur ponceau, supposant qu'on veuille teindre 40 kil. de laine, on garnit la chaudière avec 1,200 gr. de dissolution d'étain pour écarlate, 1,200 gr. de crème de tartre, 400 gr. de cochenille en poudre, 400 gr. de curcuma pulvérisé; on lisse pendant environ une heure, on lève et on rince. On remonte ensuite le même bain avec 1,200 gr. de dissolution d'étain, 400 gr. de crème de tartre, 1,250 gr. de lake-dye pulvérisé; on lisse encore les laines pendant trois quarts d'heure; on soutire le bain; on lave de suite pour éloigner la matière résinoïde que cette substance tinctoriale contient en quantité notable.

On monte à neuf la chaudière avec 600 gr. de dissolution d'étain, 200 gr. de crème de tartre et 250 gr. de cochenille moulue; on lisse au bouillon pendant une heure environ, on mieux tant que la nuance n'est pas obtenue; on lève, puis on rince à l'eau bouillante.

Kermès.

Lorsqu'on fait usage du kermès pour teindre la laine on distingue deux opérations, le bouillon et la rougie; on se sert pour le bouillon de la même composition que pour l'alunage de la laine. La rougie comporte en kermès les 2/3 du poids de la laine et quelquefois même le poids exact lorsque la graine n'est pas nouvelle. On mène la mise jusqu'à ce qu'on soit à la hauteur que l'on désire. La couleur que le kermès communique à la laine a moins d'éclat que celle que la cochenille reçoit après qu'on la fait monter avec les sels d'étain. On a pendant longtemps nommé l'écarlate au kermès *écarlate de graine*, parce qu'on confondait cet insecte avec une graine.

On nomme écarlate semi-graine la couleur obtenue par l'emploi simultané du kermès et de la garance. Ce mélange fournit une couleur très-solide, mais qui n'a pas tout l'éclat qu'on peut désirer. Le kermès donne néanmoins des teintes roses assez jolies; il est regrettable que son emploi ne soit pas plus répandu de nos jours.

Fuchsine.

La plus belle coloration rouge qu'on connaisse aujourd'hui s'obtient sur soie par la matière colorante extraite de l'aniline par MM. Renard frères, de Lyon, d'après les observations de M. Verguin. Aucune matière colorante à ma connaissance, dit M. Chevreul, n'est comparable à la fuchsine pour l'éclat, l'intensité et la pureté de la couleur. Avant la fuchsine, c'était la carthamine qui donnait le plus beau rose.

Aucune teinture, si ce n'est la carthamine, ne donne plus facilement tout ce qu'on en attend. Il n'y a de précaution à prendre qu'avec certaines variétés d'origine déterminée, comme l'azaléine, qui sont accompagnées, pendant la transformation de l'aniline sous l'influence des agents transformateurs, d'un excès de sels d'aniline ou de matières résineuses qu'il faut éliminer avec soin.

Un bouillon dans une certaine quantité d'eau, puis une filtration dans une chausse de laine, telles sont les précautions qui suffisent pour donner un bain convenable.

Quand on se sert de l'azaléine, on obtient généralement une nuance un peu plus violacée qu'avec la fuchsine de M. Renard; nous avons déjà dit que cette circonstance tient non pas à ce que la matière colorante est différente, mais bien à ce qu'elle est accompagnée d'indisine ou d'un autre principe bleu différent de l'indisine et de la fuchsine.

La coloration de la laine et de la soie se fait sans préparation : cependant généralement on ajoute au bain un peu d'acide tartrique pour aviver la nuance. On n'opère pas au-dessus de 50 à 60 degrés centigrades; on mène vivement jusqu'à ce qu'on ait obtenu la nuance désirée.

Nos appréciations, au sujet du brevet de M. Renard, ont été vivement critiquées dans l'*Industriel alsacien* (21 octobre 1860).

Ces attaques, dont la forme semblerait dévoiler des intérêts froissés, me prouvent que les experts ont touché juste. Le document dont je parle se termine d'ailleurs par des conclusions qui ne tendent rien moins qu'à consacrer les droits de M. Renard et frères, de Lyon. Ni M. Perkin, au premier jour, ni M. Hoffmann, actuellement, ne revendiquent pour eux l'honneur de la découverte du fait capital industriel que M. Verguin a le premier observé, et que MM. Renard ont appliqué. Tant que ces chimistes n'auront pas parlé, je persisterai dans mon opinion qui n'a rien de fâcheux pour leur mérite, savoir : que M. Hoffmann n'avait pas attaché la moindre importance aux colorations qu'il avait observées, colorations en dehors des recherches qu'il poursuivait, et que M. Perkin n'avait pas eu l'occasion de voir la coloration rouge dont on lui a tout d'abord attribué la découverte.

2. Teinture en violet.

Orseille.

On sait qu'il est très-facile d'obtenir avec l'orseille la magnifique teinture violette amaranta qu'elle est susceptible de donner. Il suffit, en effet, pour opérer une teinture, de délayer dans un bain d'eau tiède la quantité d'orseille qu'on juge nécessaire pour la quantité de laine ou de soie sur laquelle on veut opérer. On chauffe ensuite le bain dans lequel on peut ajouter un peu de dissolution d'étain en portant la température dans les environs de 90 à 95 degrés, on mène la mise autant de temps qu'il en faut pour arriver au ton demandé. On n'obtient toutefois de nuances agréables sur laine que celles qui sont assez foncées.

En rappelant une ancienne observation d'Hellot, savoir, que l'orseille à laquelle on ajoute une petite quantité de sel d'étain devient plus solide que l'orseille pure, on se demande comment il se fait qu'on ait attendu jusqu'à ces dernières années pour fixer une couleur tellement utile en teinture, que Berthollet déplorait l'abus que les teinturiers étaient portés à faire de cet élément.

Teinture de la soie. — L'orseille seule colore la soie dans les nuances lilas; elle servait surtout autrefois pour modifier le ton de certaines teintures obtenues au moyen d'autres principes.

Pour teindre en orseille, on fait bouillir dans une chaudière ce qu'il en faut pour une quantité donnée de soie blanchie; on fait écouler toute chaude l'orseille débarrassée des impuretés qui restent au fond de la cuve de dépôt, si l'on se sert d'orseille ordinaire, et on lisse avec beaucoup de rapidité les soies dégorgées avec du savon, jusqu'à ce qu'on ait obtenu la nuance conforme à l'échantillon. On lève et on rince à la rivière.

Les diverses améliorations introduites dans la fabrication de l'orseille ont singulièrement amélioré cette teinture qui rend aujourd'hui les plus grands services pour les soieries. Nous avons déjà dit les nuances différentes que produisent MM. Guinon, Marnas et Bonnet de Lyon.

On avait déjà remarqué que la couleur gagnait en solidité, lorsqu'avant ou pendant le passage en orseille la soie avait le contact avec une dissolution d'étain.

Cette méthode permet la fixation simultanée des autres principes colorants que le sel d'étain peut rendre adhérents à la soie.

Lorsqu'on fait usage de la pourpre française avant sa précipitation sous forme de laque, il suffit, pour monter un bain de teinture, de dissoudre dans un peu d'ammoniaque et d'étendre d'une quantité convenable d'eau pure.

Lorsqu'on fait usage de la laque calcaire, on commence par mettre la matière colorante en liberté par l'addition d'un acide capable de former avec la base un composé peu ou point soluble ; on a recours à l'acide sulfurique ou à l'acide oxalique.

On ajoute ensuite de l'ammoniaque pour dissoudre la matière colorante ; le bain de teinture se trouve tout monté.

On peut aussi teindre directement avec la laque calcaire, pourvu qu'on ajoute au bain du carbonate d'ammoniaque. Par l'effet d'une double décomposition déterminée par l'élévation de température, l'acide carbonique s'unit à la chaux, tandis que la matière colorante entre en dissolution en se combinant avec l'ammoniaque.

Lorsqu'on veut obtenir avec la pourpre française des nuances bien pures, il est bon de blanchir d'avance à l'acide sulfureux la laine ou la soie.

En somme, on voit que rien n'est plus facile que de teindre avec la matière de M. Guinon, et comme elle résiste à l'action des acides, il en résulte qu'on peut passer les fibres teintes en pourpre dans toutes les couleurs qui ne se fixent que par les acides, et arriver à produire ainsi les effets les plus variés. M. Persoz a fait connaître qu'en l'associant au carthame on obtient des nuances fleur de pêcher, groseille, rose des Alpes, qui ne laissent rien à désirer ; les échantillons que M. Guinon a bien voulu mettre à ma disposition démontrent qu'en l'associant à l'indigotate de soude, elle peut produire toutes les nuances violettes jusqu'au bleu violacé. Les avantages de l'orseille solide ne se bornent pas à la teinture ; on peut s'en servir pour l'impression, en préparant une laque avec l'alumine. On la dissout dans l'acide acétique, on ajoute un peu de magnésie, on épaissit à l'albumine, puis on vaporise après l'impression.

Mais il existe une méthode plus rapide, qui consiste, suivant la nature des tissus, à imprimer simplement un mélange d'albumine et de matière colorante, et à dessécher ; on peut encore imprimer de l'albumine seule, la faire sécher, et passer ensuite la tissu dans un bain de pourpre française, monté comme on l'a vu. Les parties chargées d'albumine se teignent seules : l'albumine fait fonction de mordant organique.

Indisine, anileine.

Nous avons déjà dit tout l'intérêt qui s'attache à la production du nouveau violet d'aniline ; nous avons fait connaître les conditions les plus avantageuses dans lesquelles s'effectue son application au coton. Ce perfectionnement dans l'art de la teinture a mis en relief l'importance des mordants organiques. Depuis les travaux d'Hausmann sur la valeur des mordants, de nombreuses applications en ont été faites, et l'albumine a servi pour fixer l'orseille d'abord, le violet d'aniline ensuite. M. Barreswill cite ce fait intéressant que, dès 1847, M. Dollfus-Ausset de la maison Dollfus-Mieg a fait imprimer de l'albumine préalablement dissoute dans l'eau et additionnée d'une petite quantité d'huile, pour donner à l'étoffe une certaine souplesse que ne possède plus le tissu lorsque l'albumine est coagulée. En supposant une impression en uni on teint dans un bain d'orseille ; au sortant du bain on vire en passant la couleur dans un bain d'eau de chaux faible.

L'emploi du violet d'aniline en teinture repose sur la même préparation, et c'est, d'après M. Barreswill, à l'année 1847 qu'il faut faire remonter la première application des principes posés par Hausmann dans son travail sur les mordants organiques.

L'albumine s'emploie pour la fabrication du violet d'aniline de trois manières différentes. C'est surtout comme impression qu'on en fait usage à Mulhouse. Trois maisons semblent se disputer l'honneur de ce perfectionnement remarquable. M. Dollfus-Mieg, MM. Kœcblin frères et Steinbach-Kœcblin ; enfin M. Perkin prend sa part dans la priorité.

Le procédé le plus direct consiste à épaissir la dissolution d'indisine avec de l'albumine. Ce serait la méthode la plus simple, donnant les résultats les plus convenables par rapport à la solidité de la teinture, si le précipité que forment les deux principes pouvait être divisé, et si le tamisage ne conduisait pas à des portes considérables.

Le second procédé consiste à préparer le tissu par une eau d'albumine ; on imprime ensuite la dissolution de l'anileine sur les tissus préparés. Cette méthode fournit les nuances les plus transparentes et les plus unies. On ne peut lui opposer que les inconvénients de la roideur que prend l'étoffe, et les difficultés de l'enluminage par rentrures.

Une troisième méthode, très-ingénieuse, consiste à teindre dans la dissolution d'aniléine l'étoffe imprimée préalablement en albumine ; on blanchit ensuite les fonds au moyen du chlorure de chaux.

3. Teinture en bleu.

Bois de Campêche.

On emploie la campêche pour teindre en bleu la laine et la soie, pour obtenir des nuances violettes ou noires, enfin pour *remonter* un pied léger de bleu solide ou de cuve.

On donne aux bleus de campêche le nom de *bleus faux* ; ces couleurs, du reste, à part les inconvénients de leur peu de solidité, offrent de grands avantages à cause de la facilité de leur exécution.

On commence par donner un bouillon, composé, par exemple, pour 100 kilog. de laine, de 4 kilog. d'alun et 200 gr. de tartre ; le bouillon dure une heure et demie ; on verse dans le bain une décoction de campêche, et on précipite en bleu par le sulfate de cuivre, qui donne une nuance d'un bleu pur. On plonge la laine à l'ébullition, puis on la mène vivement pendant un quart d'heure. On lève, on évente, puis on lave. Le bleu de roi ou bleu d'enfer s'obtient au moyen de plusieurs passages. Voici les doses pour 100 kilog. de laine ; on garnit le bain de 10 kilog. d'alun, 2 kilog. de tartre, 1 kilog. de vitriol bleu et des copeaux de campêche ; ou plonge la laine, on la mène, puis on laisse bouillir trois heures. On ajoute de nouveaux copeaux, on fait bouillir encore jusqu'à ce que la teinture ait acquis l'intensité désirée. On ajoute ordinairement de la sorte de 15 à 18 kilog. de copeaux. On fait bouillir une demi-heure, et on ajoute la laine, qu'on maintient à l'ébullition pendant une heure. On peut donner un premier pied de bleu solide. On peut donner deux ou trois passages successifs. Quelquefois, on termine par un avivage, surtout quand on ajoute du sel d'étain dans la composition. On avive par un bain qui contient 200 gr. de sulfate de cuivre par pièce de drap. On mène pendant un quart d'heure d'ébullition, on abat, on évente et on lave.

Le campêche, appliqué pour teindre la soie, est d'un usage assez répandu ; la teinture se fait à la température de 30 ou 40 degrés.

La réaction du bichromate de potasse sur la décoction de bois de Campêche a conduit à des nuances nouvelles. M. Kopp, qui les a décrites, en fait le résumé suivant :

« On sait depuis longtemps, qu'en ajoutant à une décoction de bois de Campêche une petite quantité de bichromate de potasse, soit pur, soit additionné de son poids d'acide sulfurique, on obtient un liquide bleu foncé constituant une encre très-économique et pouvant servir à la teinture. Les proportions suivantes ont été indiquées pour la teinture du coton.

« A 500 litres d'extrait liquide de campêche, marquant 2 degrés Baumé, on ajoute 1,500 gr. de bichromate de potasse, préalablement dissous dans de l'eau et additionnés de 3 kilog. 1/2 d'acide chlorhydrique à 22 degrés Baumé. On plonge les toiles ou les écheveaux de fil de coton dans la liqueur, et l'on élève la température peu à peu jusqu'à l'ébullition. Le coton se teint ainsi en bleu indigo foncé, qui prend une teinte violacée, si on le sèche sans le laver préalablement; si, au contraire, on lave d'abord dans l'eau ordinaire, ce reflet violet disparaît et la nuance devient bleu noirâtre très-foncé. Cette teinture est très-économique, puisque les proportions ci-dessus indiquées peuvent servir à teindre 1,000 à 1,200 kilogrammes de coton.

On peut aussi commencer par préparer un mordant de chrome en dissolvant 1 kilogramme de bichromate de potasse dans l'eau, ajoutant 1 kilog. d'acide sulfurique, et ensuite, peu à peu, une quantité suffisante de mélasse ou de dextrine pour désoxyder l'acide chromique.

Dans ce liquide, suffisamment étendu d'eau, on mordance la toile à chaud et on la teint ensuite en campêche, ou bien l'on ajoute le mordant au bain de teinture, et l'on y plonge la toile, en élevant peu à peu la température jusqu'à 90 à 95 degrés centigrades.

Pour teindre 56 à 60 kilog. de coton, on emploie la décoction d'un poids égal de bois de Campêche, et le mordant de chrome résultant de la réduction de 67 gr. de bichromate de potasse.

La couleur est à peu près solide et résiste assez bien aux acides étendus comme aux alcalis faibles.

Indigo.

Toute la théorie de la teinture en bleu d'indigo peut se résumer en deux mots. On plonge l'étoffe dans une dissolution d'indigo blanc, puis on l'expose au contact de l'air pour former sur la fibre textile de l'indigo bleu. L'indigo bleu se réduit dans la pratique par le contact avec un alcali.

Quelle que soit la nature de l'alcali dont on fasse usage, on opère toujours dans des bassins qui prennent le nom de *cuve*, et qui se distinguent suivant la température à laquelle on opère, suivant la nature de la fibre qu'on veut teindre en *cuves à froid* ou *cuves à chaud*. Ils ont ordinairement 3 mètres de profondeur sur 2 mètres 50 de diamètre. Cette capacité, commode pour les manipulations, s'oppose au refroidissement trop rapide de la masse totale. La cuve cylindrique est en bois ou en cuivre, l'une et l'autre matière ont leurs avantages et leurs inconvénients. On les couvre dans tous les cas; un crible en corde forme un fond fixé sur la *champagne*, dont la section est celle de la cuve; il est maintenu par des cordes et des crochets attachés sur le bord de la cuve. Pour faire la passe des écheveaux, on les suspend sur les bâtons après les avoir distribués par matteaux de poids égaux. On commence par les humecter dans l'eau chaude. Pour les étoffes, on les mouille dans l'eau tiède, on les bat et on les dispose sur la champagne; pour les flocons, on les enferme dans des filets qu'on fait descendre dans la cuve, également bouillis. Ces précautions empêchent l'air emprisonné dans la fibre sèche d'entrer dans la cuve. La manœuvre se fait pour les écheveaux en lissant, et pour les tissus en menant de la tête à la queue, puis inversement en évitant le contact de l'air. Pour faire bleuir, on tord avec un moulinet, on évente. On passe une fois, deux fois, trois fois, suivant le ton et la hauteur du ton qu'on veut obtenir.

L'appareil que M. Deshayes m'a communiqué peut être d'un emploi fort avantageux même pour la teinture en bleu de cuve des filés de coton; je l'ai vu manœuvrer dans son établissement de la Corneille (Orne). Le lissage mécanique est avantageux pour des nuances égales.

Dans la méthode ordinaire, pour éviter le refroidissement et le contact de l'air, on recouvre la cuve de son couvercle composé de deux ou trois segments égaux. Pour maintenir un bain dans sa plus grande activité, conserver l'indigo blanc en plus grande quantité possible, on *pallie* souvent; c'est l'opération la plus fatigante; il faut cependant ne passer les mises que lorsque le dépôt a gagné le fond et qu'on a replacé le champagne; cette condition est nécessaire, à moins qu'on ne veuille pas teindre en uni et qu'on cherche à faire des bleus faïencés, qu'on prépare au moyen des *cuves troubles*.

On donne à l'atelier qui renferme les cuves le nom de *guède* et les ouvriers qui dirigent la cuve s'appellent *guederons*; ces dénominations ne sont cependant pas en usage partout, car on ne les connaît pas en Normandie, ou moins pour la teinture des cotons filés.

Les cuves de bain sont difficiles à réchauffer; les cuves de cuivre peuvent, au contraire, subir les réchauds avec promptitude et facilité quand on juge à propos d'élever la température pour s'opposer au refroidissement qu'occasionnent le passage de l'étoffe et la durée de l'opération. Cependant les cuves de bois peuvent suffire lorsqu'on possède des serpentins destinés à conduire la vapeur pour chauffer indirectement.

Nous avons indiqué l'article de ce Dictionnaire qui mentionne les différents dosages employés pour teindre (voy. t. II, TEINTURES). On y trouvera décrit toute la manœuvre et le montage d'une cuve à froid, nous n'y reviendrons donc pas; cependant nous compléterons ces notions en présentant ici d'une manière sommaire les diverses cuves en usage pour les laines et les phénomènes particuliers qui servent de guide au teinturier pour connaître l'état de sa cuve. On distingue, parmi les cuves montées à l'indigo, les cuves au pastel, les cuves de vonède, les cuves de potasse, les cuves à la cendre gravelée, les cuves allemandes, les cuves d'inde. Nous étendrons principalement sur la cuve au pastel la marche de l'opération. Nous aurons peu de chose à dire pour faire comprendre en quoi les premiers diffèrent des derniers.

Cuves de pastel. — Le pastel *isatis tinctoria* contient une matière colorante bleue semblable à l'indigo, une matière colorante jaune fauve, une substance azotée coagulable par la chaleur, une autre non coagulable dans les mêmes circonstances, différents sels dont les acides sont végétaux et les bases alcalines et terreuses; il est à présumer que les matières azotées réagissent comme réducteurs et facilitent la transformation de l'indigo bleu, c'est-à-dire sa dissolution et sa décoloration.

Monter une cuve, c'est mettre l'indigo bleu maintenu suspendu dans l'eau en contact avec des matières capables de lui fournir indirectement ou directement l'hydrogène dont la fixation est accompagnée de la séparation d'un équivalent d'eau basique; il ne faut employer que des matières incapables de produire une coloration nuisible à celle de l'indigo; ces avantages sont réunis dans le pastel, le vonède, la garance. Cette dernière substance fournit une teinture violette, quand elle est en contact avec un alcali; en contact avec l'indigo, la nuance qu'elle fournit possède plus d'intensité. Elle agit en outre par l'affinité que possèdent pour l'oxygène certains de ses principes constituants.

Les cuves au pastel contiennent ordinairement, quand on travaille en grand, 10 kil. d'indigo et 10 kil. de garance; on pourrait descendre cette quantité de moitié sans trop d'inconvénient. On ajoute du son et de la gaude; mais il faut être sobre de ces éléments dont la décomposition est assez rapide; le son exciterait une fermentation putride, la gaude s'altérerait encore plus promptement: on n'en met ordinairement que 2 à 3 kil. pour les 10 kileg. d'indigo que nous venons d'indiquer. Ces additions ne sont pas indispensables.

Le pastel s'ajoute tantôt en fragments, tantôt en poussière: sous cette dernière forme il agit plus rapidement, il faut alors évidemment une surveillance plus active.

Quand le bain a subi l'ébullition nécessaire à l'opération, on ajoute le pastel, on transvase et on met 3 à 4 kil. de chaux pour dissoudre l'indigo. On pallie et on laisse déposer quatre heures, on couvre la cuve pour éviter le contact de l'air, on pallie. La cuve ne possède pas encore d'allure décidée; le bain ne possède que l'odeur des matières qu'il tient en dissolution, et qui proviennent de la garance, de la gaude et du pastel; on continue de pallier de trois heures en trois heures.

Mais au bout de vingt heures la fermentation se produit, l'odeur devient ammoniacale, le liquide prend une couleur d'un jaune fauve; de plus, une sorte d'écume bleue se forme à la surface du bain, et le nuance de l'eau, prise à l'extrémité d'un tube de verre, se coloreen vert d'abord, en bleu bientôt après, si le contact de l'air est suffisamment prolongé. C'est que l'indigo contenu dans le pastel a passé dans la dissolution à l'état d'indigo bleu sous l'influence de la fermentation, et ces réactions prouvent que le bain est en état d'opérer la transformation de l'indigo qu'on pourrait y mêler. On choisit ce moment, en effet, pour ajouter l'indigo, broyé convenablement dans des moulins en fer et réduit à l'état de pâte par une porphyrisation complète, quelquefois aidée par l'addition d'une petite quantité de potasse ou de soude. Mais comme une portion de la chaux qu'on a déjà mise dans le bain est saturée par l'acide carbonique produit par la fermentation, ou par les acides qui proviennent des garances, de la gaude, par l'acide lactique qui résulte de l'altération du son, il faut en ajouter; on verse de nouveau 2 à 3 kilog. de chaux vive. L'air en sature d'ailleurs un certain poids.

L'indigo ne se dissout pas de suite; il exige, au contraire, un certain temps variable avec l'origine de la matière; l'indigo de Java demande neuf à dix heures, ceux du Bengale n'en demandent pas plus de six; après avoir ajouté l'indigo, qu'on met en même temps que la chaux, on pallie en répétant cette opération toutes les trois heures, on recouvre et on laisse reposer pour pallier encore de nouveau. La cuve doit alors prendre une teinte jaune roux foncé; elle se recouvre d'une *fleurée* bleue très-prononcée, et de plus la surface a l'aspect cuivré. On peut alors immerger les pièces; mais on a remarqué que les premières teintes sont d'une nuance moins vives que les dernières; cette différence tient à ce qu'il se fixe tout d'abord en même temps que l'indigo les principes jaunes de la garance, de la gaude, du pastel. Le coton présente moins que la laine cette teinture rabattue. Les fibres textiles ont bien vite pris tout ce qu'elles peuvent prendre au bain; il faut les exposer à l'air; l'indigo se régénère à l'état d'indigo bleu; un nouveau passage fixe une nouvelle quantité de bleu, et c'est par plusieurs passages successifs qu'on obtient les bleus les plus foncés. Pour ne pas perdre d'indigo, la marche la plus rationnelle consiste à faire les premières passes dans les cuves très-pauvres, les dernières dans les cuves montées à neuf. Un jeu de dix cuves échelonnées, composées d'une même manière, conduit à l'économie la mieux entendue, puisqu'en renouvelant une cuve tous les cinq jours pour la teinture des fils de coton, on a dix cuves de puissances différentes, la plus pauvre épuisée étant remplacée par une nouvelle qui reçoit les écheveaux montés on tou le plus élevé. L'épuisement complet d'une cuve se fait avec des écheveaux qui n'ont reçu d'autre traitement qu'un débouilli dans l'eau pure pour dégager tout l'air qu'ils contiennent à l'état sec. Au bout de cinq jours, la dernière cuve, c'est-à-dire la neuve, devient l'avant-dernière, et ainsi de suite. On prépare le bleu d'enfer par des passages répétés.

Cuves de vouède. — Le vouède est, comme le pastel, une matière qu'on ajoute en Normandie aux cuves d'indigo pour les monter rapidement. Comme cette matière renferme moins de principe colorant bleu que le pastel, on l'additionne d'une petite quantité d'indigo de Bengale. Le vouède est une plante du genre *isatis* qui, suivant les uns, constituerait une espèce distincte de l'*isatis tinctoria*, suivant d'autres, au contraire, n'en serait qu'une simple variété. On prépare la cuve de vouède comme s'il s'agissait d'une cuve de pastel. On jette dans la cuve le vouède haché, en même temps qu'on prépare un mélange formé de 4 kil. d'indigo broyé, 4 kil. de garance et 7 kil. de chaux éteinte. On verse le bain bouillant dans la vouède dont l'indigo sert à faire connaître le moment où le liquide peut dissoudre celui qu'on doit ajouter. La chaux est en excès puisqu'il n'y a pas de fermentation ammoniacale. Lorsque la cuve est en état, le liquide devient roux; on continue le travail comme nous l'avons dit pour les cuves de pastel. Les cuves de vouède passent pour donner des nuances plus vives que ces dernières. Mais elles durent moins longtemps. On voit des cuves de pastel bien dirigées dans leur action marcher avec vigueur pendant cinq ou six mois de travail.

On a modifié la cuve au pastel en y ajoutant en même temps que la chaux une certaine quantité de potasse; la cuve se monte, par exemple, avec 3 kil. d'indigo, 8 kil. de garance, 2 kil. de son, 4 kil. de chaux et 2 kil. de potasse; la cuve pleine d'eau se trouve chauffée dès le matin à 90 ou 95 degrés; on met 20 kil. de pastel dès que la température est à 50 degrés; le bouillon devient brun jaune; il apparaît de petites bulles à sa surface au bout de quatre heures, si l'on fait usage de vapeur pour échauffer, au bout de huit heures, si l'on se sert d'une cuve à foyer. On pallie toutes les trois heures; quand le bouillon répand l'odeur ammoniacale, on ajoute les matières que nous avons indiquées, mais en n'employant que 3 kil. d'indigo et 7 kil. de garance; on laisse reposer; suivant que la fermentation se décide, on ajoute de la chaux ou on n'en met pas.

Quand on a pallié de nouveau, que la chaux n'est plus qu'en quantité convenable, on verse 3 kil. d'indigo, et 4 kil. de garance; on réchauffe la cuve et on pallie. On répète cette opération plusieurs fois pendant vingt-quatre heures, et le cinquième jour on commence le travail, la cuve étant en état.

On doit maintenir la température de la cuve très-égale. Trop chaude, elle fait virer au rouge le bleu déposé, par suite de l'influence de la garance. Une cuve ainsi convenablement montée dure en général trois mois; elle peut durer davantage, mais avec l'âge, elle ne donne pas une bonne économie; car l'indigo semble disparaître. Comme le travail appauvrit le bain de toute la couleur déposée sur l'étoffe, on en ajoute de temps à autre, environ trois fois par semaine; on le met le soir vers dix heures; on pallie toutes les trois heures pendant vingt-six à quarante heures, pour que tout l'indigo puisse entrer dans la dissolution. Tous les soirs on entretient l'activité du bain par l'addition de 1 kil. 1/2 de garance. Il vaut mieux n'ajouter l'indigo que par petites parties; on en perd par une fermentation trop

active. Quand un bain est épuisé, on soutire avec des draps tout l'indigo qu'il renferme; pendant cette opération, qu'on arrête quand il n'y a plus de teinture, on n'ajoute plus que de la garance.

On trouve ici naturellement la supériorité de la méthode que nous avons retracée plus haut et qui s'oppose à ce que les cuves vieillissent; les cuves épuisées peuvent être employées pour en monter de nouvelles; il est préférable de monter les neuves avec tous matériaux nouveaux.

La teinture systématique au moyen des cuves échelonnées est surtout économique dans les établissements très-vastes, on dans ceux qui ne s'occupent que de la teinture en bleu d'indigo. Je l'ai vu pratiquer à la Carneille dans l'Orne avec le plus grand succès.

Cuves d'inde, dites encore *cuves gravelées*. — Ce sont après les cuves froides dont on trouvera la composition t. II, de ce Dictionnaire à l'article TEINTURE, les plus simples et les plus faciles à conduire.

Pour monter une cuve, on commence par faire bouillir dans une masse d'eau convenable une quantité de garance et de son proportionnelle à l'indigo qu'on veut faire entrer dans le bain. Après deux heures d'ébullition, on verse les cendres gravelées, qu'on fait bouillir également pendant deux heures; on rafraîchit, puis on ajoute l'indigo qui a commencé sa transformation dans un bain analogue, mais dans une petite chaudière; on gagne ainsi du temps et l'on peut éviter bien des accidents qui doivent nécessairement entraîner une perte notable sur la quantité de l'indigo mis dans la cuve. En supposant qu'on veuille employer 10 kil. d'indigo, on emploiera 20 kil. de cendres gravelées, 6 kil. de garance et 2 kil. de son. Ces cuves sont ordinairement montées au moyen d'une chaudière modérée.

Cuves à la potasse. — Lorsque dans les cuves d'inde on remplace les cendres gravelées par de la potasse on monte les cuves à la potasse; on opère avec plus de célérité que par la chaux, mais les nuances sont rabattues par suite de la réaction de l'alcali sur la décoction de garance.

Cuves allemandes. — On donne ce nom aux cuves montées avec le carbonate de soude cristallisé et la chaux caustique pour enlever l'acide carbonique aux cristaux de soude. Tout l'avantage de cette cuve réside dans la substitution à la potasse qui coûte cher d'un alcali moins coûteux comme le soude qu'on amène à l'état caustique dans l'opération elle même; la conduite de l'opération est d'ailleurs assez délicate; on monte la cuve avec 5 kil. d'indigo, 10 kil. de cristaux de soude, 2 kil. 1/3 de chaux éteinte et 1 kilog. de son. Cette cuve sert à la teinture des laines.

Quelle que soit la nature de la cuve, sa conduite demande une surveillance constante; lorsqu'elle est en bon état, il ne faut pas la laisser s'altérer; car, d'une part, l'indigo ne se dissout que lorsqu'il peut être soustrait au contact de l'air, et qu'il est dans des conditions telles qu'il s'empare de l'équivalent d'hydrogène qui le transforme en indigo blanc. D'autre part, sous l'influence d'une fermentation putride, il se décompose et perd sa couleur; rendu soluble, il suit le mouvement moléculaire qui détruit les matières azotées avec lesquelles il est en contact, tandis que, mis en macération avec l'eau pure, il ne s'altère que très-difficilement. Or le pastel et le vouède sont fortement chargés de principes comptant l'azote au nombre de leurs éléments constitutifs.

Sous l'influence d'une fermentation trop active, les caractères du bain changeraient donc au détriment du teinturier. Sa couleur deviendrait analogue à celle de la bière, l'écume blanche, l'odeur fade, sans dégagement d'ammoniaque, et si cette allure se prolongeait pendant quelques jours, une forte odeur de matières animales en putréfaction, accompagnée d'un dégagement notable d'hydrogène sulfuré, succéderait aux caractères normaux, qui sont le signe d'une allure régulière. La chaux dans les cuves de pastel et de vouède, la potasse dans les cuves d'inde, la soude dans les cuves allemandes s'opposent à ces accidents. Mais il faut les renouveler. En effet, pendant l'acte de la fermentation, il se dégage de l'acide carbonique qui sature la chaux dans les cuves de pastel et l'alcali dans les autres cuves; il se dépose dans les unes du carbonate calcaire; il se dissout dans les autres des carbonates alcalins, toujours en quantités variables, d'autant plus considérables que la fermentation se trouve être plus active.

Les conditions dans lesquelles sont les cuves varient donc à chaque instant. Ajoutons à cela que leur composition change encore, non seulement à cause du travail qui prend une quantité notable d'indigo pour la transporter sur la fibre textile, quelle qu'elle soit, mais encore à cause de l'oxydation d'une partie de l'indigo soluble au contact de l'air introduit par l'atmosphère qui baigne la surface ou qu'amène l'étoffe. Il y a donc des modifications incessantes dans la quantité d'indigo contenu dans le bain sous forme convenable à la teinture. C'est pour régulariser cette composition qu'on est forcé de pallier de temps en temps; l'indigo régénéré par le contact de l'air se dissout de nouveau, recharge le bain.

Mais pour teindre de nouvelles mises, il faut que les parties insolubles se soient déposées. On comprend sans peine qu'elles s'attacheraient aux fibres et feraient *réserve* sur les points qu'elles couvriraient. Ces manipulations entraînent donc de grandes lenteurs, surtout quand les cuves sont montées depuis quelque temps et que la *pâtée*, pied ou fond de cuve, présente une grande ténuité.

Le bain possède par lui-même tous les éléments pour être bien gouverné; mais ce n'est qu'à la condition d'être surveillé, de pallier en temps voulu et de maintenir les alcalis en proportions convenables pour arrêter ou ralentir des fermentations trop développées.

Malgré tous les soins qu'on apporte à ce travail, les cuves peuvent être fortes ou faibles, *roides* ou *douces*. Il faut savoir les ramener au point convenable. La cuve forte est celle qui présente un excès de chaux. La cuve douce en manque; le premier accident est peu dangereux; le second est beaucoup plus grave, car il est accompagné d'une destruction complète d'une partie de l'indigo.

A quels signes extérieurs reconnaîtra-t on ces deux allures? A l'état normal, la fleurée abondante est légèrement cuivrée, le bain est jaune, l'odeur franchement ammoniacale, sans trop de force; les bulles qu'on excite à la surface sont rapidement écartées.

Lorsque la cuve est forte, l'odeur est fortement ammoniacale, piquante, le bain brun foncé, les bulles sont soudées, à reflets argentés. Il y a trop de chaux; on corrige ce défaut par une addition de sulfate de fer. Berzélius a constaté que la chaux possède la propriété de former avec l'indigo blanc deux combinaisons différentes, l'une soluble dans l'eau, l'autre avec excès de chaux, complètement insoluble. La présence de ce dernier composé dans les cuves fortes dissimule l'indigo, mais ne le détruit pas; l'addition d'un acide propre à s'emparer de l'excès de chaux le fait reparaître. L'emploi du sulfate de protoxyde de fer dans ce cas, consacré par l'expérience, équivaut à l'addition d'un acide; il se forme du sulfate de chaux et de l'indigotate soluble.

Lorsque la cuve est douce, le bain est orangé, jaune, sale; l'odeur est ammoniacale, faible, sucrée, surtout si la cuve est neuve; il n'y a pas de fleurée. Il faut ajouter de la chaux pour s'opposer à la fermentation qui semble se porter sur l'indigo et l'entraîner dans une

évolution moléculaire qui le détruit. On ignore quels sont les produits de cette altération, mais les comptes d'une fabrique ne permettent pas de mettre en doute une destruction partielle.

Il est donc indispensable qu'il y ait toujours dans les cuves de pastel ou de vonède un léger excès de chaux; si la fermentation prenait un accroissement considérable, il en résulterait l'accident le plus grave auquel les cuves puissent être sujettes, et qu'on nomme *coup de pied*. Ce terme indique que le pastel ou le vouède, qu'en nomme *pied de cuve*, sont la cause du désordre. Au moment où l'accident se prépare, des bulles grises ou blanchâtres surnagent le bain; elles sont accompagnées de particules de pastel ou de vonède, entraînées dans le mouvement de fermentation; la cuve *broue*. L'odeur ammoniacale a totalement disparu; il ne reste plus que l'odeur des matières en digestion dans le bain. Le bain ne contient plus en dissolution qu'une très-faible quantité d'indigo; si l'on pallie la cuve, on voit un mouvement encore plus violent, qui, sur les bords de la cuve, imite l'ébullition. On doit se hâter d'ajouter de la chaux. L'indigo n'existe plus dans la cuve; son état est tellement destructeur, que si l'on passait une pièce teinte en bleu pour la monter à la hauteur du ton bleu qu'elle possède déjà, ce couleur, même acquise, pourrait disparaître et se dissoudre dans le bain. Dans les cuves chaudes, cet accident n'est pas sans gravité. Cependant, quand elles ne sont pas trop vieilles, on peut chercher à les remettre en état en ajoutant de la chaux. Quand ce phénomène se présente sur des cuves froides, il n'y a pas autant de dangers puisqu'on est presque toujours alors sur le point de donner un *réchaud*.

Ce réchaud permet de modifier l'allure du bain. On donne ce nom à l'opération qui a pour but, en élevant la température du bain, d'augmenter son activité; elle occasionne une grande perte de temps, lorsque les cuves que l'on veut réchauffer sont montées dans des vaisseaux de bois; car il faut alors transvaser une partie du bain dans une chaudière, et le renvoyer ensuite dans la cuve. Ce mouvement met l'indigo blanc en contact avec l'air et le fait passer à l'état insoluble. On verse dans la cuve, dès qu'on a prélevé le liquide qu'on veut réchauffer, du son, de la garance et de l'indigo broyé. On pallie le pied. Quand le bain est chaud, on renvoie le liquide dans la cuve, on pallie de nouveau, puis on laisse reposer, en ne travaillant que lorsque le bain est convenablement chargé d'indigo soluble.

On s'en assure en plongeant un échantillon d'étoffe ou plusieurs écheveaux, les laissant séjourner un quart d'heure, les lavant, les tordant et les exposant à l'air après les avoir éventés. Les fibres sont jaunes-verdâtres à leur sortie du bain, mais le contact de l'air doit les faire verdir d'abord, puis bleuir ensuite.

Lorsque les cuves sont en cuivre, les réchauds se font avec la plus grande facilité par chauffage direct.

Pour prévenir les accidents auxquels sont sujettes surtout les cuves de pastel, il est préférable de faire usage de pastel ou de vonède récolté sans fermentation. Une cuve montée de la sorte est bien vite mise en état; elle peut servir à la fois à la teinture de la laine, de la soie, du fil et du coton. Les fibres teintes en bleu doivent être avivées par un passage à l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique.

Teinture de la soie. — Lorsqu'on veut teindre la soie par l'indigo, le fabricant monte une cuve d'Inde. A cet effet, on prend 1200 litres d'eau, 6 kilos de potasse ou de soude, 2 kilos de son et 2 kilos de garance. On délaye dans l'eau le son, la garance et l'alcali. On porte à l'ébullition pendant quelque temps, puis on verse le tout, liquide et marc, dans la cuve proprement dite, à laquelle on ajoute l'indigo parfaitement broyé. On agite vivement; on couvre la cuve autour de laquelle on fait un peu de feu, ou dans laquelle on maintient un courant de vapeur de manière à tenir la température de bain dans les environs de 50 degrés centigrades. On pallie et on répète cette opération de douze heures en douze heures, jusqu'à ce que le bain soit prêt pour la teinture. La cuve est ordinairement en état au bout de quarante-huit heures. Alors le bain présente les qualités normales que nous avons fait connaître.

Au moment de teindre la soie, on verse une petite quantité de cendres gravelées, 1 kil. environ, et 125 gr. de garance; on remue le tout. Après quatre heures de repos, on passe la soie. La température est telle que la main puisse sans douleur endurer l'impression de la chaleur. On plonge alors la soie dans ce bain après l'avoir préalablement fait cuire avec le tiers de son poids de savon blanc, et l'avoir dégorgée par deux ou quatre battues dans une eau courante. La soie doit être teinte par petites parties; chaque mateau se plonge l'un après l'autre au moyen d'un bâton qu'on place en travers de la cuve. On lisse à plusieurs reprises, on évente, puis on jette dans l'eau pure; ce lavage est terminé par la torsion sur le rouleau ou l'espart.

Après la teinture, la dessiccation doit être prompte; on l'obtient l'hiver dans une chambre chaude, en exposant la soie sur un châssis qu'on agite pour faciliter l'évaporation. Quand le bain s'affaiblit, on le remonte en y ajoutant un demi kilo de cendres gravelées, un peu de garance et une poignée de son bien lavé; on pallie. Quand l'indigo lui-même se trouve épuisé, l'addition qu'on en fait est encore accompagnée d'une addition proportionnelle de son, de garance et d'alcali. Nous recommandons ici l'usage de cuves systématiques qui s'épuisent sans qu'on soit obligé de les remonter en indigo.

L'indigo seul ne teint la soie que dans les nuances claires; pour obtenir de la vigueur, on donne un premier pied d'orseille fort pour le *bleu turc*, faible pour le bleu de roi: ce dernier peut être plus solide quand on le prépare avec de la cochenille au lieu d'orseille pour le premier pied. On le nomme *bleu fin*. Les autres bleus se font sans pied; la différence de nuance tient à la richesse du bain et au nombre de passages qu'on donne aux fils.

On a souvent à teindre des soies écrues. Elles se teignent en général avec plus de facilité que les soies cuites et en nuances plus foncées: si la même cuve doit servir aux deux genres de fabrication, on commence par teindre les soies cuites, on termine par les soies crues qui cèdent une partie de la matière gommeuse dont elles sont chargées et qui pourrait nuire à la teinture des soies cuites.

Carmin d'indigo. — La coloration par l'acide sulfo-indigotique demande une préparation préalable pour la laine. On prépare avec l'alun et le tartre; on met dans le bain le carmin d'indigo; on en verse une proportion plus ou moins considérable, suivant le ton plus ou moins foncé qu'on veut obtenir. Les nuances claires peuvent se faire à la suite des nuances foncées; cependant elles ont beaucoup plus d'éclat lorsqu'on les obtient au moyen de bains nouveaux.

Supposons qu'on veuille teindre des tissus de laine ou de laine mélangés de soie; on fait bouillir la laine pendant une heure dans un bain de crème de tartre à raison de 250 gram. par kilogr. d'étoffe. On lève; on verse dans le bain la quantité voulue de bleu soluble préalablement dissous et décanté. On mène jusqu'à ce qu'on ait atteint la nuance demandée. On retire et on lave. L'opération se fait au bouillon pour les tissus pure laine: mais pour les mélanges laine et soie, on donne un bouillon à la crème de tartre mélangée d'alun; on teint sans bouillir.

Pour teindre la soie pure, on prépare à l'eau tiède dans un bain d'alun, on lève, on lave et l'on teint ensuite dans le bouillon d'alun dans lequel on a versé le bleu soluble en quantité convenable pour la nuance désirée.

M. Chevreul a donné les dosages qui suivent pour teindre la laine pure et les tissus composés laine et soie. Pour 40 kil. de laine, on prépare un bouillon composé de 1250 gr. d'alun et de 675 gr. de crème de tartre. On mène les laines pendant une demi-heure à 70 degrés, on lève et on évente; on ajoute dans le bain plus ou moins de carmin d'indigo dissous, on lisse la laine jusqu'à la nuance voulue. Si l'on veut un ton virant sur le rouge, on met en même temps que le carmin d'indigo de la cochenille ammoniacale. On rince.

Bleu de Prusse.

Tous les chimistes connaissent la réaction des sels de fer sur les prussiates jaunes et rouges. On obtient dans des conditions déterminées de magnifiques précipités bleus dont l'industrie s'est emparée, surtout pour les soieries, et qu'on a su depuis de longues années appliquer sur les autres matières textiles. Les perfectionnements les plus importants dans ce genre de teinture sont dus à M. Raymond, qui a pu l'aviver en la rendant tout à la fois brillante et nourrie. Les bleus qui se forment dans ces circonstances rencontrent la fibre textile au moment de leur précipitation et se combinent avec elle pour y contracter une adhérence convenable.

On peut établir qu'il y a deux procédés pour produire la teinture en bleu de Prusse. Dans l'un, on dépose sur l'étoffe une certaine quantité de fer oxydé, qu'on bleuit ensuite en le mettant au contact d'une dissolution de prussiano-ferrure jaune acidulée par l'acide sulfurique en quantité suffisante pour former du bisulfate de potasse avec la potasse du ferrocyanure; on passe la laine préparée par le bain ferrugineux dans ce bain bouillant; il se forme du bleu de Prusse avec une nuance verdâtre qu'on fait disparaître par une nouvelle immersion dans un bain de prussiano-ferrure rouge, acidifié comme le premier par l'acide sulfurique. L'étoffe réduit une partie de l'oxyde de fer pour former du bleu.

Dans le second procédé, beaucoup plus simple, on met à profit l'action de l'air sur l'acide prussiano-ferrique libre. On plonge en conséquence les étoffes dans un bain de prussiate jaune acidifié par l'acide sulfurique pour les exposer ensuite au contact de l'air qui dépose du bleu de Prusse. C'est ainsi que le bleu s'applique sur les mousselines laines: le tourniquet sur lequel les pièces sont enroulées pour retomber dans la cuve est assez élevé pour que l'oxydation se fasse et que la coloration jaune déposée sur le tissu passe successivement au vert, puis au bleu. La nuance peut être montée par un lissage plus ou moins continu jusqu'à la hauteur voulue; il n'y a plus qu'à l'aviver dans un bain spécial.

Teinture de la laine. — Comme exemple de teinture par ce second procédé, nous choisirons la teinture en bleu des mousselines laines. Lorsque les pièces ont été dégraissées au savon ou mieux encore au carbonate de soude, ou les lave à l'eau pure; elles sont alors prêtes à recevoir la teinture au bleu de Prusse.

Le bain de teinture se compose pour chaque pièce, ayant à peu près 60 mètres de long, de 360 gram. de prussiate jaune de potasse, 360 gram. d'acide sulfurique, 500 gram. d'alun. Le tout est dissous dans 60 à 80 litres d'eau. On emploie le tourniquet élevé pour donner le contact de l'air aux pièces qu'on mène très-vivement pendant une heure à la température de 35 à 40 degrés centigrades; au moyen d'un serpentin, la température est montée jusqu'à 60 degrés pendant la deuxième heure; on termine par un lissage à 100 degrés pendant une dernière heure. On mène vivement afin que le tissu reçoive alternativement et dans toutes ses portions l'action de l'air et du bain. Environ une heure avant d'abattre, on ajoute dans le bain 45 gram. de sel d'étain; quand l'opération est terminée, on abat et on lisse jusqu'à ce que la pièce soit froide; le fixage se fait avec le temps. Il ne faut donc pas aviver immédiatement, une bonne partie de la couleur se détacherait. On avive plus tard, on foulonne avec de la terre qui distrait toute la matière non combinée; on lave à l'eau courante.

Le bain d'avivage se compose de 500 gr. d'alun, 360 gr. d'acide sulfurique et 15 gr. de sel d'étain par pièce de 60 mètres; on dissout, on fait tourner une heure, puis on rince.

L'avivage n'est pas nécessaire lorsqu'on teint des pièces destinées à l'impression d'enlevage pour blancs, ou pour fournir des nuances par superposition; on voit qu'on n'opère qu'avec une extrême lenteur, et sans sels de fer. Cette méthode paraît être la seule qui conduise à des nuances égales, claires et brillantes. Suivant M. Stephan de Berlin, on obtient par ce même moyen les nuances les plus claires.

On porte à l'ébullition le bain monté par du prussiate jaune, ou en approche le tissu pour le plonger aussitôt qu'on y a versé, pour une partie de cyanoferrure, une demi-partie d'acide tartrique qu'on a fait dissoudre préalablement. On mène vivement pendant un quart d'heure pour éviter les taches; il est bien entendu que pendant le travail il faut éviter que le bain ne se trouve en contact avec aucune partie métallique capable de se dissoudre dans l'acide, et d'altérer la nuance. Après que l'étoffe sort du bain elle est d'un bleu verdâtre qu'on développe avec un grand éclat en faisant passer le tissu dans un bain acidifié par l'acide sulfurique, ou l'acide azotique ou l'acide chlorhydrique.

M. Raymond, qui a donné son nom à la teinte bleue fournie par le bleu de Prusse, a fait connaître la méthode à laquelle il donne la préférence et qui peut servir d'exemple à l'appui du premier procédé que nous avons indiqué d'une manière succincte. On donne d'abord un bain de rouille, puis un bain de bleu.

Pour faire le bain de rouille, on procède de la manière suivante: Dans une cuve de 6 à 700 litres de capacité qu'on garnit avec 60 kil. d'acide sulfurique à 66 degrés et 60 kil. d'acide nitrique à 35 degrés, on ajoute par petites portions 260 kil. d'eau; on ajoute encore par petites portions 360 kil. de couperose verte. La réaction accompagnée d'une vive effervescence s'arrêterait si l'on n'élevait la température progressivement jusqu'à l'ébullition. Après quelques bouillons, on verse un mélange fait préalablement de 65 kil. d'acide sulfurique à 66 degrés, 450 kil. de crème de tartre rouge et 400 kil. d'eau. On pallie en ajoutant de l'eau jusqu'à ce que le liquide marque 36 degrés à l'aréomètre de Baumé. On laisse déposer pendant trois ou quatre jours, on soutire, puis on conserve dans des tonneaux.

Pour donner le bouillon de rouille, on commence par remplir la cuve à peu près au trente-cinquième de sa capacité de la dissolution à 36 degrés dont la préparation précède, on la remplit d'eau en agitant toujours; la liqueur marquera un demi-degré; si l'eau pure marque 0 degré, on chauffe jusqu'à 40 ou 60 degrés; si l'on veut teindre un drap, on l'étale sur le tour dans sa largeur et on l'immerge; au bout de quelques instants, le tissu se sera chargé d'une couche de rouille assez foncée pour se teindre en bleu par son contact avec l'acide prussiano-ferrique; on le relève, et, sans le laisser égoutter trop longtemps, on le lave à l'eau courante.

Quand on veut produire plusieurs nuances de bleu, les passes se font dans la même cuve; on commence par les moins foncées qu'on immerge à la température ordinaire; quand on veut des nuances vigoureuses on

opère à chaud, même à l'ébullition; on élève alors graduellement la température pour éviter les tissus vergés, c'est-à-dire teints d'une manière inégale. Lorsqu'on juge que le bain s'appauvrit, il est convenable de le remonter; à cet effet on ajoute de la dissolution marquant 36 degrés en quantité qu'on regarde comme équivalente à celle que les étoffes ont enlevée. Mais à la longue les bains changent de nature, parce que l'oxyde de fer est enlevé par la fibre ; il est convenable de temps en temps de les remonter à nouveau.

La mise en bleu se compose de deux opérations distinctes. Dans la première on remplit une cuve de bois, munie d'un tour, d'eau de source qu'on chauffe à 30 degrés par un courant de vapeur ; on arrête le feu, puis on jette 850 gr. de prussiate jaune de potasse pour chaque pièce de 10 kil. On pallie, et quand le mélange est bien fait, on déroule le drap qu'on fait plonger dans le liquide pendant 12 ou 15 minutes, après quoi on le relève. Le résultat de cette première immersion ne porte sur le drap qu'une petite quantité de bleu de Prusse. La seconde opération porte sur l'étoffe la quantité d'acide prussiano-ferrique nécessaire pour transformer en bleu de Berlin la totalité de l'oxyde de fer fixé. On prend une quantité d'acide sulfurique à 66 degrés égale à celle du prussiate jaune employé, soit 850 gr.; on y ajoute trois ou quatre fois son poids d'eau, puis on verse le 1/3 du tout dans le bain de prussiate, en agitant pour obtenir un mélange complet; on y fait descendre la pièce, on laisse plonger pendant un quart d'heure, on lève ; on ajoute le second tiers de la liqueur acide, on plonge de nouveau pendant un quart d'heure ; on répète cette manœuvre trois fois jusqu'à ce que le tout soit versé dans le bain. On cesse de remuer le drap qu'on plonge en entier, on porte à l'ébullition en élevant la température graduellement. Après quelques bouillons, on relève le drap pour le passer à l'eau courante.

S'il n'est pas possible de se rendre un compte exact de la quantité de bleu de Prusse déposée sur un tissu pour le teindre en une nuance donnée, on peut admettre sans trop d'erreur qu'il faut pour teindre 1 kilog. de laine en bleu d'*enfer* 100 gr. de prussiate, 85 gr. pour du bleu dit bleu *pers*, 65 gr. pour le bleu *turquin*, 40 gr. pour le bleu céleste, et 15 gr. seulement pour le bleu naissant.

Ici, comme par l'autre méthode, on fait précéder l'avivage d'un foulonnage soigné; le liquide froid dans lequel on foulonne contient 500 gr. de savon, 40 litres d'eau; cette opération élimine toutes les particules de bleu qui ne sont pas adhérentes; elle dure 15 à 20 minutes, on lave à l'eau courante, puis on passe à l'avivage.

L'avivage des bains foncés se fait avec une eau froide contenant environ 0,03 de son poids d'ammoniaque liquide. On plonge les draps dans le bain d'avivage en les dévidant par le mouvement de rotation qu'on imprime un tour. Lorsqu'il s'agit d'aviver des teintes claires, après avoir foulonné comme précédemment à froid dans une eau de savon, le drap passe dans une cuve remplie d'eau de source à proximité d'une source de vapeur; elle devra contenir pour chaque litre d'eau 5 gr. d'acide sulfurique à 66 degrés et 5 gr. de tartre rouge dissous dans 10 gr. d'eau. On pallie le bain, on chauffe à l'ébullition ; on place le drap sur le tour, on le dévide pendant un quart d'heure en maintenant la température, on le relève pour le rincer à l'eau courante.

Ces mêmes manœuvres sont applicables à la teinture des laines en toison ; on prend seulement la précaution de ne pas remuer le filet qui contient la matière à teindre.

Teinture du coton. — On se sert pour teindre le coton par le bleu de Prusse de bleu préparé d'avance qu'on choisit de la meilleure qualité et qu'on dissout dans trois ou quatre fois son poids d'acide chlorhydrique ; on fait digérer pendant vingt-quatre heures, en remuant de temps en temps, puis on laisse déposer. Le coton blanchi et bouilli, mis en digestion avec l'acétate d'alumine à 5 ou 6 degrés Baumé, séché, puis lavé, se teint en bleu dans la liqueur acide, chargée de bleu de Prusse et mêlé dans 20 à 25 fois son poids d'eau chaude; on lisse jusqu'à la teinte voulue pour égaliser la nuance, on l'abat dans le bain quelques minutes, on lève, on tord, puis on évente; on lave, et on fait sécher.

Dans d'autres manufactures, on donne au coton un pied plus ou moins fort de rouille en le passant alternativement et à plusieurs reprises dans une dissolution de sulfate de fer marquant 4 à 5 degrés Baumé, puis dans une dissolution de potasse marquant 2 degrés ; on tord, on fait sécher et on lave.

D'autre part, pour 60 kilog. de coton, on pulvérise 6 kilog. de bleu de Prusse ; on délaye dans 4 kilog. d'acide sulfurique, on verse le liquide dans le bain, et quand le mélange est complet, on passe le coton chargé d'oxyde de fer. On laisse la fibre plonger jusqu'à ce qu'elle ait pris la nuance voulue. On lève, on évente et on sèche.

Il paraît qu'en appliquant les procédés de la laine à la teinture du coton, le bleu qu'on obtient présente plus de résistance. Dans ce cas, on prépare avec un sel de fer (pyrolignite ou sulfate) marquant 1 à 2 degrés; on dégomme à l'eau de craie marquant 60 degrés; on teint avec 150 à 160 grammes de prussiate jaune décomposé par 60 ou 75 grammes d'acide sulfurique pour 100 litres d'eau à 37 degrés de chaleur. On rince, et on avive dans une eau d'acide sulfurique marquant moins de 2 degrés.

Teinture de la soie. — L'opération consiste à tremper la soie cuite d'abord dans un bain qui donnera un pied de fer, puis dans un bain d'acide prussiano-ferrique. En supposant cinq pièces de soie étendues les unes à la suite des autres, on prépare une dissolution de fer en faisant dissoudre 8 kilog. de couperose dans 2 kilog. d'acide nitrique à 35 degrés; on étend d'eau jusqu'à ce que le mélange marque 40 degrés. Pour préparer le premier bain, on ajoute à 150 litres d'eau 2 litres de composition ferrugineuse et 125 grammes de sel d'étain. On donne une première passe à la soie dans ce bain, on lave et on rince dans une eau de savon presqu'à l'ébullition ; on lisse au large, on donne six tours et on lave au foulard ; l'étoffe après avoir reçu son pied de fer peut entrer dans le second bain qui contient 150 grammes de prussiate dissous dans 250 litres d'eau. On donne trois tours dans ce bain, on lève et on ajoute 625 grammes d'acide sulfurique ; on donne quatre tours, on lisse, on abat, et, sans laver, on fait rentrer dans le premier bain ; on donne cinq tours, on rince au foulard ; on fait passer au deuxième bain, on donne cinq tours, on lève, on rince, et la teinture est terminée comme bleu Raymond.

En changeant les proportions et augmentant les dosages du protochlorure d'étain, on obtient un bleu beaucoup plus vif et plus intense, surtout si l'on avive dans le bain faible d'acide sulfurique.

4. Teinture en vert.

Nous n'avons pas à nous étendre sur les nuances vertes qu'on obtient en teinture par des immersions simultanées ou successives en jaune et bleu, et qui nous ont occupé déjà suffisamment pour n'y pas revenir. Nous ne décrivons ici que les nuances vertes particulières, dont le type, jusqu'à ce jour, est représenté par le vert de Chine.

Vert de Chine.

La curieuse matière qu'on désigne actuellement sous le nom de vert de Chine a circulé pendant assez longtemps en Europe sans qu'on ait remarqué ses qualités. Il semble résulter de quelques documents que Bancroft, chimiste anglais en 1793, Kurrer, chimiste allemand en 1801, et Gustave Schwartz en 1837, s'en étaient occupés. On avait importé sous le nom d'*indigo vert* de petites quantités de cette matière, qui atteint encore le prix énorme de 360 à 500 francs le kilog.

La teinture de la soie et la teinture du coton par le moyen du lo-kao n'a pas été sans offrir de sérieuses difficultés pour les premiers qui se sont occupés de ces recherches. Les résultats obtenus d'abord par MM. Ch. Benner et Dupéray sur coton, par M. Dupéray sur soie, ceux de M. Michel, de Lyon, font espérer qu'entre les mains des habiles teinturiers de nos jours, cette teinture fournira des couleurs dont nous avons fait ressortir ailleurs tous les avantages. On trouve dans la notice sur le vert de Chine publiée par les soins de la Chambre de commerce de Lyon d'intéressants détails sur ces teintures. Nous allons en donner un extrait. Nous ferons connaître sans commentaires les méthodes usitées en Chine pour teindre directement avec les écorces, et pour teindre avec le lo-kao; nous terminerons par un exposé des méthodes auxquelles on a recours en France aujourd'hui pour tirer parti de la matière colorante des nerpruns indigènes ou exotiques.

Teinture des toiles de coton au moyen des écorces. — Les procédés employés en Chine ont été répandus par MM. Arnaud Tison, Hélot et Sinclair.

D'après M. Arnaud Tison, on fait infuser l'écorce pendant quinze à vingt minutes dans de l'eau chaude; la toile est plongée dans le bain froid sans préparation; on l'étend la nuit sur la terre pour éviter les rayons solaires et des températures trop élevées; la gelée paraît nécessaire au succès de l'opération. Pour obtenir des nuances foncées, on passe l'étoffe à plusieurs reprises dans le même bain et dans les mêmes conditions.

D'après le P. Hélot, l'écorce fraîche est bouillie, puis infusée pendant deux jours; certaines espèces exigent une infusion de six jours. On opère avec deux bains séparés, l'un et l'autre reçoivent de l'eau de chaux. Les deux espèces *hong-pi* et *pe-pi* sont nécessaires. On plonge les toiles sept à huit fois dans les bains de hong-pi, et trois fois dans le bain de pe-pi; on fait sécher après chaque immersion. On étend les toiles à la tombée de la nuit; c'est là le procédé qu'on suit dans la localité nommée *A-zé*.

A Khin-tcheou-fou, les procédés diffèrent : on fait bouillir l'écorce fraîche du *pe-pi-lo-chau* avec 63 gr. de potasse pour 400 kilog. de liquide; on plonge les toiles deux ou trois fois dans le bain; on fait sécher au soleil après chaque immersion. Dans la province de Canton on fait usage d'alun au lieu de potasse ou de chaux. Si les deux méthodes d'A-zé et de Khin-tcheou-fou sont différentes, c'est que dans cette dernière ville on veut seulement teindre la toile, tandis qu'à A-zé la teinture n'est qu'un moyen particulier pour la préparation du lo-kao; les écorces des deux variétés de nerpruns sont alors nécessaires.

Suivant M. Sinclair, on fait bouillir l'écorce dans l'eau chaude; on maintient l'ébullition pendant une heure; on ajoute à la fois de la potasse et de l'alun; on décante, on filtre, on laisse reposer pendant une nuit, puis on trempe les pièces dans le bain; on les étend sur le sol à l'air libre pour les faire sécher, mais le matin, à l'heure où le soleil est le moins ardent. Il faut faire passer très-souvent l'étoffe et sécher une vingtaine de fois afin d'obtenir une nuance foncée.

Tels sont les procédés importés de Chine pour la teinture au moyen des nerpruns. M. Michel a remarqué que, par suite de l'immersion dans un bain d'écorce de nerprun et de l'extension sur le pré pendant la nuit, l'étoffe prend un endroit, le côté le plus exposé même à la radiation nocturne. Ce phénomène paraît être dû, d'après M. Mercer, au transport à travers l'étoffe, sur la surface supérieure par suite de l'évaporation spontanée, d'une plus grande quantité du principe coloré entraîné par l'eau qui l'a dissous.

Teinture des cotons au moyen du lo-kao. — Malgré son prix très-élevé, même à la Chine, le lo-kao sert à teindre en nuances claires les étoffes les plus communes. 7 à 21 centimes de lo-kao suffisent, d'après M. N. Rondot, selon l'intensité de la nuance, pour teindre un mètre carré. A Sou-tchéou-fou et à Chang-Haï, la méthode est la suivante :

Le lo-kao est dissous à chaud dans de la potasse (cendres lessivées); la toile bien lavée doit être plongée dans le bain, dont la température est maintenue vers 50 à 60 degrés, tordue à la cheville, éventée, plongée une seconde fois, tordue de nouveau, rincée dans l'eau claire et séchée par l'exposition à l'air libre. La force de la potasse doit être très-variable, puisque dans les différentes recettes son poids varie pour 400 gram. de lo-kao de 1600 gr. à 30 gr. seulement.

Le coton se teint aussi très-bien dans un bain formé de lo-kao, dissous dans le sulfhydrate d'ammoniaque; mais comme il faut oxyder à l'air, on n'obtient de coloration qu'à l'aide de manœuvres coûteuses.

Le meilleur procédé, tant pour la facilité de l'opération que pour la régularité des produits, consiste à faire dissoudre 50 à 60 gr. de savon blanc dans 40 lit. d'eau, à délayer une quantité convenable de lo-kao gonflé ou purifié; on chauffe le bain dans lequel il suffit de plonger les fils ou les étoffes de coton.

Nous n'aurons pas occasion de parler de l'impression; son application par voie mécanique sur les tissus de coton est des plus élémentaires. Il suffit, en effet, d'imprimer sur calicot aluné ou non aluné de l'eau de gomme, dans laquelle on a délayé, soit du lo-kao brut, soit du lo-kao purifié, soit des laques alumineuses, le tout avec ou sans addition d'acétate d'alumine, d'alun, ou de l'un des agents employés dans la teinture. Pour purifier le lo-kao, on le fait dissoudre dans le carbonate de potasse, pour obtenir une dissolution concentrée, qu'on laisse éclaircir, qu'on décante et qu'on étend ensuite de beaucoup d'eau pour précipiter la matière colorante. On peut aussi traiter une partie de lo-kao gonflé par une fois et demie son poids d'acide acétique du commerce, qui dissout les bases carbonatées et phosphatées; on délaye le tout dans 500 parties d'eau; on obtient une liqueur très-chargée de matière colorante, que l'on filtre et qu'on précipite par l'ammoniaque; la nouvelle laque se dépose, surtout si l'on a versé quelque peu d'alun dans la liqueur acide.

On peut encore imprimer une solution épaisse de lo-kao faite dans le protochlorure d'étain acide, sécher et passer le calicot dans un bain clair d'acétate de chaux saturé de chaux; ou bien former une solution concentrée de lo-kao dans du savon, l'épaissir, l'imprimer et vaporiser le tissu chargé du mélange.

Teinture des soies et des tissus de soie. — Il n'est pas douteux qu'on ne puisse teindre les soies avec le lo-kao; il n'est pas moins démontré qu'on peut employer à cet usage l'écorce même du nerprun de la Chine. Il paraît certain, d'après des témoignages dignes de foi, que le lo-kao sert surtout pour teindre les étoffes de choix : le siége de cette industrie est, en Chine, à Sou-tchéou-fou et à Hang-tchéou-fou. Au reste, d'après les renseignements qu'ont fournis le père Hélot et le rév. M. Edkins, la méthode à suivre pour teindre la soie avec l'écorce ou le lo-kao ne diffère pas, comme

principe, de celle qu'ils ont décrite pour teindre le coton. Néanmoins le dissolvant qu'ils emploient dans le cas de la teinture de la soie n'est indiqué nulle part.

La teinture de la soie par le lo-kao est aujourd'hui un fait acquis en France. A l'appui de cette assertion, je transcris ici le passage suivant extrait de la notice de M. N. Rondot :

« A Lyon, M. Guinon, en mars 1853, et M. Michel, en avril de la même année, pour ne parler que des plus heureux, entreprirent des essais qui leur donnèrent bientôt des résultats très-intéressants; mais l'application industrielle du vert de Chine ne date que du printemps de 1855. En avril 1855, M. Guinon teignit avec du lo-kao par des velours épinglés et coupés en une couleur verte, que son analogie avec celle de l'acétate de cuivre fit appeler *vert Vénus*. L'addition du jaune au lo-kao n'eut lieu que vers le mois de juillet, et l'on obtint alors la nuance vert Azof, qui est charmante à la lumière.

« C'est vers cette époque que M. Michel découvrit le procédé qui porte son nom. Ce procédé, depuis le milieu de l'année 1856, est pratiqué d'une manière utile par plusieurs teinturiers de Lyon.

« Le lo-kao n'était encore que peu connu, M. Guinon seul en avait fait usage; il tenait caché, comme il tient encore aujourd'hui, le procédé qui lui est propre. Le secret de l'origine de la couleur de ces robes élégantes, tant remarquées dans l'automne de 1855, fut même si bien gardé, que M. Michel ne le connut qu'après la publication de son travail. Son mémoire attira l'attention générale sur cette nouvelle matière, et la consommation en augmenta de suite notablement. Pour ne citer qu'un exemple, M. Guinon, qui avait teint avec le vert de Chine environ 1500 kilog. de soie d'avril 1855 à mars 1856, en teignit plus de 3500 kil. d'avril 1856 à mars 1857. »

S'il nous est impossible de rien dire des méthodes employées par M. Guinon pour opérer la teinture en vert au moyen du lo-kao, nous pouvons faire connaître le procédé de M. Michel, tel qu'il l'a donné dans une note lue le 6 mars 1856 à la Chambre de commerce de Lyon.

On fait digérer 5 gram. de lo-kao pendant trois jours dans 30 gram. de solution d'alun marquant 5 degrés, on broie ensuite la couleur, qu'on délaye de nouveau dans 250 gram. de la même dissolution d'alun; on agite le mélange trois ou quatre fois dans la journée. Le lendemain on décanta avec précaution le liquide, qui paraît presque noir. On répète cette opération trois jours de suite. On obtient ainsi un litre de dissolution verte alumineuse; pour bien épuiser le dépôt, on fait une cinquième opération avec 280 gram. de solution d'alun, et on conserve la liqueur faible qui résulte de ce dernier traitement pour commencer une nouvelle dissolution verte. Le résidu non soluble est d'environ 30 p. 100.

Au moment de teindre, on étend le litre de solution verte alumineuse de quinze litres d'eau de puits, plus ou moins, suivant la qualité calcaire de l'eau dont on se sert, et on introduisant dans le bain ainsi préparé 1 kilogr. de soie cuite et levée en savon, on obtient la nuance la plus claire, en un seul bain et en moins d'une demi-heure.

Pour des nuances plus foncées, on passe la soie successivement dans deux, trois, quatre, etc., bains semblables. Les soies, après la cuite et le lavage au savon, contiennent une certaine quantité de chaux qui leur sert de mordant; aussi le premier bain de dissolution verte est-il rapidement épuisé. Pour continuer cette action du mordant de chaux dans les bains suivants, on donne un bain d'eau calcaire plus ou moins prolongé, entre chaque bain de matière colorante. Comme la couleur ne présente jamais d'inégalités de nuance, il est inutile de tordre et de remettre en bâtons. On lave la soie sur une grille ou sur des bâtons pour la passer d'un bain à l'autre.

Pour nettoyer la soie après la teinture, on la rince d'abord légèrement; on lui donne un bain de terre à foulon, et on la lave ensuite comme à l'ordinaire. Les soies, ainsi teintes, sont brillantes, soyeuses et ne déteignent plus par le frottement.

On doit à M. Persoz d'autres indications que nous croyons devoir placer ici, principalement à cause de la nouveauté du sujet. On compose, avec une solution de lo-kao dans le protochlorure d'étain faiblement acidulé, mêlé d'une certaine quantité d'eau, le bain dans lequel on manœuvre, à la température ordinaire, la soie que l'on veut teindre. En peu de temps, elle se charge d'une couleur rouge-saumon pâle; on la retire pour la passer dans une eau légèrement ammoniacale, soit dans un bain formé d'acétate de chaux, sursaturé de base. On voit immédiatement la soie changer de nuance, passer au pourpre, puis au bleu. Après avoir laissé l'oxygène de l'air agir sur la matière colorante, on rince, et l'on passe dans une dissolution de graine de Perse. Quand le lo-kao conserve la couleur violette, les verts obtenus ne donnent pas de nuances brillantes à la lumière.

Une autre méthode consiste à préparer la soie par un passage dans un bain d'alun, puis à la manœuvrer dans un bain chargé de lo-kao, dissous dans le sulfhydrate d'ammoniaque, comme s'il s'agissait de teindre en bleu de cuve, c'est-à-dire en faisant succéder à chaque immersion dans le bain une exposition à l'air, non plus pour *déverdir*, comme on le dit dans la teinture en bleu, mais pour *dérougir*, en acceptant l'expression de M. Persoz. Il est curieux de voir une étoffe verte sortir ainsi d'un bain pourpre foncé.

Enfin, on peut encore délayer le lo-kao gonflé dans une lessive de potasse, saturée de protochlorure d'étain; la soie plongée dans ce bain n'a plus besoin, pour devenir d'un beau bleu céleste, que de recevoir le contact de l'air; on fait du vert en l'associant à du jaune brillant à la lumière.

M. Persoz a décrit plusieurs méthodes pour teindre le coton. En partant du lo-kao, on des laques alumineuses, on modifia la nuance par des additions de carbonate, de phosphate, de pyrophosphate ou de borate de soude, ou bien encore par de faibles proportions de sels d'alumine, de magnésie et de zinc. On maintient la bain à 40°. Le sel de zinc donne une nuance bleue; les sels de soude maintiennent la couleur vert d'eau.

Teinture de la laine. — On a cru longtemps à l'impossibilité de teindre on d'imprimer la laine au moyen du vert de Chine. Cependant M. Persoz recommande les procédés suivants qui s'opposent à l'action réductrice exercée par la fibre sur la matière colorante.

On délaye dans l'eau la laque d'étain, qu'on prépare en précipitant par le chlorure double d'ammoniaque et d'étain la liqueur acide chargée de lo-kao dissous dans l'acide acétique et versant de l'acétate de soude en poids égal à celui de chlorure double ajouté; on chauffe ce bain en y ajoutant de temps en temps de petites quantités d'acide oxalique. Le tissu de laine qu'on y passe sort parfaitement teint. On teint encore la laine au moyen d'un bain chargé de lo-kao dissous dans le protochlorure d'étain légèrement acide; la laine, d'abord saumon d'abord, passe au bleu dans une dissolution d'acétate de soude.

Pour imprimer sur laine, on fait encore usage d'un mélange de laque violette à base d'étain et d'acide oxalique; on imprime, on vaporise, et la couleur verte se trouve fixée dans toute sa pureté.

Le vert de Chine se modifie dans sa nuance par son association avec des couleurs jaunes. Le jaune par

l'acide picrique convient parfaitement. Les Chinois font usage, à cet effet, du *hoang-tchi*, fruit d'une espèce de *gardenia*, ou du hoaï-hoa, bouton de la fleur du styphnolobium japonicum, ou *sophora japonica*, ainsi qu'il résulte de la lettre du P. Helot sur la préparation du vert de Chine, et d'une lettre du professeur Bleekrode, de Delft, auquel on avait écrit de Chine que les toiles grossières de coton teintes avec le lo-kao reçoivent un premier pied de hoaï-hoa.

5. Teinture en jaune.

Parmi les teintures en jaune appliquées sur les différents tissus, on trouve des nuances solides et d'autres qui ne le sont pas. On teint rarement la laine en jaune pur; mais cette couleur fait la base d'une foule de nuances composées, d'une grande consommation. La soie souvent, au contraire, reçoit de vives couleurs jaunes qui servent à la préparation des couleurs binaires.

Gaude.

La gaude est la matière que l'on préfère dans la teinture des laines; elle doit cet emploi spécial à la manière dont elle se comporte avec les alcalis qui la transforment en un jaune clair au lieu de lui donner un œil rougeâtre, comme ils le font dans leur contact avec les autres jaunes. Ces draps ne changent donc pas par l'opération du foulonnage auquel on les soumet. La gaude donne des colorations bien moins solides que la garance et l'indigo.

Teinture de la laine. — Lorsqu'on opère sur la laine en toison, on prépare un bouillon qu'on dose, pour 100 kilos de laine, en ajoutant, dans quantité suffisante d'eau de pluie ou de citerne, 20 kilos d'alun et 5 kilos de crème de tartre. Après trois heures d'ébullition, on lève, puis on conserve la laine humide dans des caves pour que la combinaison se fasse aussi complétement que possible; on lave ensuite.

Pour le gaudage, on fait le bain avec des eaux stagnantes qui paraissent donner au jaune une nuance plus brillante. On ajoute, pour faire bouillir, de 60 à 100 kil. de gaude suivant sa provenance et sa richesse; on l'enferme dans des sacs qu'on surcharge de croix en bois pour l'empêcher de flotter à la surface. On maintient l'ébullition jusqu'à ce que la gaude soit dépouillée complétement et que le bain soit bien chargé.

On a, dans quelques endroits, l'habitude d'ajouter au bain un peu d'alcali pour dorer la nuance : on se sert indifféremment ou de craie ou de carbonate de chaux; on enlève les sacs, on rafraîchit le bain, puis on plonge les toisons ou les fils; on mène aussi vivement que possible pour n'avoir pas de parties tachées; après un quart d'heure d'ébullition, le bain doit être dépouillé; on abat, puis on évente.

Lorsqu'on veut teindre la laine en pièce, on compose le bouillon pour une pièce de 16 à 18 mètres qui pèse 17 à 20 kilos, en prenant pour faire dissoudre 4 kilos d'alun et 1,5 de tartre; on laisse à la cave comme pour la laine en flocons, on lave, puis on procède au gaudage. A cet effet, on plonge dans un bain frais, qui contient de 8 à 12 kilos de gaude, suivant sa qualité. On a, dans certaines fabriques, exagéré cette quantité de gaude; elle est plus que suffisante, surtout si l'on a soin de jaunir par deux immersions; comme la première ébullition en eau chaude peut laisser de la gaude non dissoute, on fait bouillir les sacs une deuxième fois dans le même bain, auquel on ajoute un peu de carbonate de soude. On rejette le bain après cette seconde passe.

La gaude appliquée sur laine peut être modifiée par des additions de fustet, de garance ou de bleu; on obtient ainsi des verts de nuances variées, des chamois et des verts-dragon, olive, bronze, etc.

On substitue, dans le midi de la France, à la gaude les fleurs de genêts qui donnent un jaune-verdâtre; les genêts poussent spontanément et leur matière colorante n'est pas chère; on les nomme *trentanel* dans les environs de Bédarrieux, *parjole* dans les environs de Vienne. Ils remplacent la gaude dans ses principaux usages comme couleur simple ou composée.

Teinture du coton. — La teinture en gaude sur coton se pratique sur la fibre préalablement alunée. Le coton prend mieux l'alunage quand il a reçu le débouilli par la lessive alcaline. On prend pour composer le bouillon, pour 10 kilos de coton, 2,5 d'alun, c'est-à-dire le quart du poids de la mise; on laisse tremper pendant vingt-quatre heures, on lève, puis on sèche sans laver.

Le gaudage s'effectue dans un bain qui résulte de la décoction de 12^{k},5 de gaude; on lisse vivement jusqu'à ce qu'on ait atteint la nuance voulue. Berthollet donne comme addition à cette préparation une nouvelle passe pendant une heure dans une dissolution de sulfate de cuivre contenant 2^{k},5, c'est-à-dire le quart du poids du coton. On lève et on passe encore dans une dissolution de savon blanc contenant 2^{k},5 de savon; cette passe est faite à la température de l'ébullition. On mène vivement pour égaliser la nuance et on porte à 100 degrés pendant une heure, on lève, on rince et l'on fait sécher.

Quand on veut des tons vifs, on se dispense d'aluner : on emploie le double de gaude; on mène jusqu'à ce que les écheveaux aient pris la teinte demandée; on lève, on ajoute un peu de lessive de soude, puis on fait une nouvelle passe qui dure un quart d'heure. On lève, on tord, on rince et on fait sécher. Pour éviter les salissures, on enlève les bottes de gaude quand l'ébullition a dissous toute la matière colorante.

Lorsqu'on a des tissus à teindre, on foularde dans de l'acétate d'alumine à 7 degrés, on sèche à la chambre chaude pendant deux ou trois jours. On dégomme dans de l'eau à 40 degrés avec 1 à 2 kil. d'alcali, on rince. Pour le gaudage, on passe l'étoffe dans le bain chargé de gaude par trois quarts d'heure d'ébullition, on enlève le sac qui contient la gaude, on refroidit à 40 degrés, on plonge les pièces, puis on manœuvre pendant le temps nécessaire pour que la nuance soit montée. En variant les doses de gaude, d'alun ou d'acétate d'alumine, on fait varier les nuances, qui sont d'ailleurs variables encore avec la température à laquelle on teint; en opérant à froid on obtient les nuances les plus claires.

Teinture de la soie. — La gaude sert pour la teinture de la soie en jaune franc; la soie cuite dans 20 parties de savon pour 100 de soie est alunée et rincée. On prépare un bain avec 20 kil. de gaude pour 10 de soie. La décoction se fait par une ébullition de trois quarts d'heure. On laisse déposer, on arrête toutes les impuretés par filtration, on laisse refroidir; puis, lorsque la température n'est plus que de 30 degrés, on passe la soie qu'on mène jusqu'à ce que la couleur soit uniforme. Pendant cette opération on fait bouillir la gaude avec de nouvelle eau; on rejette la moitié du premier bain, on le remplace par la décoction fraîche; ce nouveau bain est à 35 degrés. On lisse et on remonte avec une petite addition de potasse qu'on a mise au moment où l'on a mêlé les deux décoctions; cette addition se fait d'ailleurs pendant la manœuvre, suivant que la nuance doit être plus dorée; on tord à la cheville et on échantillonne. Une nouvelle passe est indispensable si la couleur n'est pas assez montée. On associe le rocou et le bleu de cuve pour varier les nuances. Le rocou la fait tourner à l'orangé; le bleu de cuve donne une nuance verdâtre. Il est indispensable de cuire fortement la soie avec 30 kil. de savon pour 100 de soie, si l'on cherche des nuances très-claires. La soie qui a reçu l'azurage peut être teinte en verdâtre par le seul fait de l'addition du jaune sur l'azurage préalable.

Graine de Perse.

La graine de Perse, comme nous l'avons dit, est le fruit d'une espèce particulière de rhamnus. Les recherches sur le vert de Chine ont fixé l'attention sur ces espèces botaniques ; les baies, les fruits et les écorces ont été l'objet d'essais nombreux ; plusieurs ont été suivis de résultats intéressants. Les baies vertes du *rhamnus infectorius* (graine d'Avignon), du *rhamnus saxatilis* (graine de Perse), du rhamnus alaternus et du rhamnus amygdalinus contiennent une matière colorante jaune. Ces matières se retrouvent quelquefois dans d'autres parties, d'autres espèces ; elles se comportent à la teinture comme les baies elles-mêmes, mais on a remarqué que l'état de maturité fait varier la couleur. Nous donnerons ici les circonstances dans lesquelles la couleur jaune persiste.

Les fruits du rhamnus frangula (hourdaine) cueillis avant la maturité, avant juillet et août, teignent en jaune brillant et solide, d'après Dambourney. Le rhamnus infectorius contient dans ses baies, avant maturité, le jaune de graine d'Avignon ; le rhamnus catharticus donne un jaune fauve lorsque la baie n'est pas mûre ; on sait qu'après la maturité le jus fournit le *vert de vessie*. Les rhamnus tinctorius auxquels plusieurs botanistes rapportent les baies qui constituent la graine de Perse sont plus estimés des teinturiers ; ils fournissent une couleur jaune très-brillante. L'écorce intérieure du rhamnus infectorius, à l'état frais, l'écorce fraîche du bourdaine et sa racine donnent une matière jaune soluble et brillante ; l'écorce du rhamnus catharticus se comporte de même ; l'écorce et les feuilles du rhamnus alaternus colorent en jaune, et le rhamnus frangula donne un jaune verdâtre.

Si l'on remarque avec M. N. Rondot, que le bois du rhamnus alaternus donne une couleur bleu foncé et que l'écorce fraîche du même nerpran et des rhamnus catharticus, frangula et infectorius contiennent une matière jaune, on conçoit la préparation du vert de Chine telle que l'a donnée le P. Hélot. Disons en passant que rien n'est plus remarquable que les évolutions de la matière colorante contenue dans les nerpruns, qui passe du rouge au violet, au bleu, au vert, au jaune. Il est probable que le vert de Chine est formé, comme nous l'avons dit, d'un bleu et d'un jaune qui possèdent tous deux séparément la propriété de ne rien perdre de leur éclat à la lumière artificielle, et qui se trouvent réunis dans le *rhamnus chlorophorus*.

Nous avons vu qu'à la Chine on trouvait un jaune très-convenable pour modifier le bleu des nerpruns dans le fruit d'un gardenia (*hoang-tchi*), ou dans la fleur du *sophora japonica* (*hoaï-hoa*). Cette circonstance nous conduit à présenter ici l'histoire de ces teintures.

Sophora japonica. — (Hoaï-hoa).

Un prêtre de l'ancienne mission de Péking, le R.-P. Cibot, a fait connaître la manière dont on prépare le hoaï-hoa; les propriétés de la matière colorante sont les mêmes que celles de la rutine extraite des boutons de fleurs du *capparis spinosa*, et de la substance cristallisable découverte par M. Weiss, dans le ruta graveolens.

D'après le P. Basile de Glémona, le *hoaï-hoa* serait extrait d'un arbre semblable à l'acacia ; le principe colorant est retiré des fleurs. En effet, la fleur du sophora fournit, d'après MM. Fortune et Hoffmann, une teinture jaune, la pulpe des gousses une couleur orange ou jaune ; M. Martius déclare que le mélange des boutons de fleurs, des pédoncules et des tiges sert à teindre en beau jaune les vêtements de soie des mandarins.

M. Natalis Rondot fait connaître en ces termes la méthode pratiquée devant lui.

« On met le hoaï-hoa dans une chaudière pleine d'eau, on chauffe, on maintient l'ébullition pendant une heure et demie, et l'on plonge dans ce bain la pièce qui depuis la veille au soir était dans un bain d'alun. »

Voici, d'après Kong-tching, teinturier chinois de Canton, comment on procède :

« Prenez de l'eau bouillante, mettez-y le hoaï-hoa et laissez-le longtemps dans cette eau ; au bout d'un certain temps, la couleur et l'odeur montent ; décantez; le résidu n'est bon à rien. Prenez cette eau ; pour la rendre tiède, ajoutez de l'eau chaude et plongez la pièce dans ce bain. Manœuvrez-y bien la pièce. Cela fait, il faut de l'eau de source pour rincer la pièce. Après le rinçage, la toile a une belle couleur jaune ; vous devez faire usage pour cette teinture d'un peu d'alun. Commencez par mettre la pièce dans une eau d'alun, un jour et une nuit, ou une seule nuit ; teignez ensuite, c'est fini. »

Deux autres teinturiers chinois, Tehn-Yune et U-ching, se servent par les mêmes méthodes du hoaï-hoa pour teindre les tissus de coton ; ils obtiennent des jaunes très-vifs sur cette matière ; a Ting-hai, on teint des toiles en jaune par au prix de 25 centimes le mètre carré; Sang-sinc, fabricant de tapis à Ning-po, prépare, avec ces boutons de fleurs sur laine et sur poil de chèvre, des jaunes assez brillants.

Ces indications, précieuses au point de vue de la teinture, ont été confirmées par les observations des teinturiers européens ; à peine avait-t on connu la nature du hoaï-hoa, que MM. Michel, Guinon et Renard retirèrent des fleurs du sophora japonica des jardins de Lyon une belle teinture jaune. M. Martius obtint le même résultat avec les fleurs provenant des jardins de Kew.

Quelques observations et plusieurs documents écrits tendent à faire admettre qu'on peut teindre en vert au moyen du sophora japonica. Nous pensons que cette teinture ne se produit que lorsqu'on a déjà mis un peu de bleu; c'est ce qui résulte des communications de M. Meadows : « Pour teindre en vert 1,000 pieds de toile de coton de 1 pied et demi de large, il faut 18 à 19 kilog. de hoaï hoa, 3,780 d'alun et 300 litres d'eau; on fait bouillir pendant six heures, on met ensuite la toile dans ce bain, on fait bouillir pendant trois ou quatre heures, on la fait sécher au soleil, on remet la pièce dans le bain, on la soumet à une ébullition nouvelle, on étend encore au soleil, et l'on recommence une ou deux fois de plus, selon que l'on veut un vert plus ou moins foncé. Il est d'usage dans le Tche-kiang de teindre le coton comme la soie d'abord en bleu clair, avant de teindre l'un ou l'autre en vert. » Dans la teinture en vert, il se peut qu'on ajoute au hoaï-hoa quelque peu d'écorce de nerprun donnant la coloration bleue. Je penche vers cette opinion.

Ces renseignements m'ont paru devoir trouver leur place ici et pouvoir servir de base aux tentatives qu'on pourrait faire pour utiliser le principe colorant que M. Schunck a retiré des feuilles du polygonum fagopyrum (sarrasin).

Gardenia grandiflora (hoang-tchi).

Nous avons fait connaître en son lieu la matière colorante jaune que M. Rochleder a retirée du gardenia grandiflora et qu'il a nommée *crocine*. L'opinion du docteur Rochleder, que cette matière est employée par les teinturiers chinois, se trouve confirmée par l'examen qu'on a fait du tchi ou hoang-tchi, par les documents écrits qui nous ont été transmis par M. N. Rondot et par les essais auxquels M. Persoz s'est livré sur des fruits importés de Chine et recon-

une comme provenant du gardenia grandiflora, plante de la famille des rubiacées. Nous transcrirons ici les renseignements que renferme à ce sujet la notice sur le vert de Chine publiée par M. Rondot sous les auspices de la Chambre de commerce de Lyon.

On connaît sous le nom de *tchi* trois espèces distinctes qu'on rapporte aux variétés *radicans*, *florida* et *grandiflora*. Elles possèdent des qualités différentes au point de vue du teinturier. L'une est représentée par des fruits allongés *tchi-tse*, l'autre par des fruits ovoïdes moins gros que le précédent *chan-tchi*, la troisième beaucoup plus petite sans désignation. Le fruit allongé est le plus répandu; le plus ovoïde est le plus estimé, mais le moins riche en principe colorant. Kong-tchiag a teint à Canton de la soie, devant M. Rondot, en une couleur jaune très-estimée par les Chinois, et Tchu-Yuae a coloré du coton par la même substance tinctoriale. Cette matière sert à donner un pied de jaune pour beaucoup de verts sur coton et sur tissus de soie, quelquefois pour des étoffes qu'on veut teindre en écarlate, en cerise, en cramoisi, par l'addition du carthame.

Le hoang-tchi, que la Chambre de commerce de Lyon tenait du docteur Martin d'Erlangen, appartient à la variété *tchi tse*; les fruits donnés par M. Remi Smith et Cᵉ appartiennent à l'espèce *chan-tchi*.

M. Persoz a fait sur le hoang-tchi des expériences intéressantes qui peuvent être, quoique incomplètes, résumées dans les termes suivants :

« On épuise les graines et les capsules par le sulfure de carbone qui enlève la totalité du corps gras sans se charger d'une quantité sensible de matière colorante. Le corps gras une fois parfaitement enlevé, on fait agir l'esprit de bois rectifié qui dissout très-bien la matière colorante; mais comme elle est logée dans les cellules, il faut des traitements réitérés pour l'enlever en totalité. On soumet à la distillation la dissolution; il reste pour résidu dans la cornue une substance jaune rougeâtre, d'apparence cristalline, soluble dans l'eau qu'elle colore comme le ferait l'acide picrique.

« Cette matière colorante, qui se comporte à la manière des acides faibles, puisqu'elle s'unit aux divers oxydes, notamment aux oxydes d'alumine, de fer, d'étain, avec lesquels elle forme des laques, présente cette particularité, qu'elle donne directement sur soie et sans le secours d'aucun auxiliaire un jaune pur brillant à la lumière artificielle, inaltérable par les acides et les alcalis, excepté l'acide nitrique, qui la détruit.

« Son mode de fixation sur la soie est des plus simples; il suffit de faire avec l'eau pure une décoction de fruits, ou mieux encore de la graine seulement lorsqu'on veut avoir des nuances plus pures. Quand on fait usage d'eau ordinaire, il faut ajouter au bain 2 gram. d'alun et 1 gram. d'acide oxalique par litre d'eau. Le bain ainsi monté, on y plonge la soie à la température de 40 à 50 degrés; elle s'y teint très-promptement.

« Pour teindre la laine, il faut faire intervenir dans le bain une assez forte proportion de composition d'étain ou bien aluner préalablement la fibre.

« Quant à la teinture du coton, elle se fait toujours très-bien, si l'on a mordancé à l'avance cette fibre par les acétates d'alumine ou de fer. »

Bois jaune.

Le bois jaune donne une teinture solide sur laine, soit qu'on l'emploie directement, soit qu'il se fixe avec un intermédiaire.. Le grand défaut de cette matière, bien que très-résistante à l'air, résulte de l'altération qu'elle subit au contact des alcalis; elle ne peut servir de base à toute fabrication dans laquelle la teinture doit être suivie du foulonnage. Le bois jaune ne peut donc être réservé que pour certaines colorations en jaune ou en nuances qui en dérivent sur tissus de laine; on ne saurait s'en passer dans toutes les nuances qui tiennent du vert de Saxe et dans lesquelles le bleu de Saxe joue un rôle plus ou moins important.

Les opérations pratiques auxquelles nous avons vu qu'on soumettait la gaude se confondent avec celles auxquelles on soumet le bois jaune. On remarque cependant plus de fraîcheur dans la première; aussi réserve-t-on la dernière pour les couleurs composées et les tons rabattus.

Le bois jaune appliqué sur la laine communique à l'étoffe une certaine roideur qui donne de la rudesse au toucher. Il est présumable que le tanin que le bois contient est la cause de ce phénomène, qu'on évite par l'addition de rognures de peau; la gélatine précipite le tanin : il serait intéressant de voir par des expériences directes si cette opération altérerait les qualités du bois jaune, considéré sous le rapport de sa résistance à la lumière.

Pour teindre de la laine avec le bois jaune, on donne un bouillon avec 240 ou 260 gr. d'alun et 240 à 260 gr. de tartre pour 1 kil. de laine; on ne rince pas, on fait bouillir ensuite dans un bain qui contient pour la même quantité de laine 1 kilo de bois jaune auquel on ajoute un peu de composition d'étain pour l'écarlate; l'ébullition dure un quart d'heure, puis on échantillonne.

On teint la soie lorsqu'on l'a préparée par le bain d'alun, on rince et on teint dans la décoction tiède sans addition.

On ne fait la teinture du coton qu'en associant la gaude et le bois jaune. La décoction contient à la fois les parties solubles abandonnées à l'ébullition par les deux matières tinctoriales. La préparation est celle de la teinture en jaune par la gaude seule.

Quercitron.

Lorsqu'on plonge la laine dans une décoction faite de quercitron et d'alun à poids égaux, on obtient une coloration jaune très-vive; l'ébullition du quercitron pendant deux minutes suffit pour enlever toute la matière colorante que le quercitron renferme; on immerge l'étoffe en donnant la nuance la plus foncée, on passe les nuances claires dans des bains appauvris, mais non encore épuisés. Par ce moyen, les parties fauves sont enlevées et les nuances claires restent plus pures. Au sortir du bain, on avive en donnant une passe dans une eau blanchie par un peu de craie; dans ces circonstances, la couleur ne semble pas offrir la même solidité que lorsqu'on soumet l'étoffe au bouillon avant de la teindre. On commence par préparer la laine en la faisant bouillir pendant une heure dans une dissolution d'alun contenant pour 12 kilos de laine 2 kilos d'alun; on n'ajoute pas de tartre. On passe dans un bain qui a reçu à l'ébullition 2 kilos de quercitron; on manœuvre jusqu'à ce que la couleur soit suffisamment montée; on lève, on avive avec de la craie qu'on jette dans le bain, on pallie, puis on abat, on mène encore huit à dix minutes.

On obtient une nuance plus foncée si l'on fait usage de composition d'étain. On prépare une nuance tirant sur le vert en ajoutant du tartre; 10 parties de quercitron, 5 d'alun, 7 de composition d'étain produisent un jaune très-brillant, doré, sans tourner à l'orange.

Teinture de la soie. — On peut remplacer dans la teinture de la soie la gaude par le quercitron. On passe la fibre en alun, puis on teint. A cet effet, le bain contient pour 12 kilog. de soie 2 kilog. de quercitron; on manœuvre dans le bain à 30 ou 40 degrés; on avive par une addition de craie ou de potasse. On peut encore ajouter à la dissolution d'alun un peu de composition d'étain.

Teinture des tissus de coton. — On foularde dans l'a-

cétate d'alumine à 7 degrés; on fait sécher à la chambre chaude; trois ou quatre jours après, on peut teindre. On dégomme dans un bain d'eau marquant 40 degrés et contenant 1 à 2 kilog. de craie.

La teinture se fait en préparant un bain dans lequel on met par pièce à teindre 1 ou 2 kilog. de quercitron renfermé dans des sacs à tissu peu serré. On fait bouillir près d'une heure, plutôt moins que plus, on enlève les sacs, et on remplit d'eau froide le bain qui n'était qu'à moitié dans la chaudière; on ajoute 20 à 30 grammes de colle par kilog. de quercitron; quand la température ne marque plus que 35 à 40 degrés, on plonge les pièces qu'on manœuvre pendant 15 à 20 minutes. On réchauffe par la vapeur. On obtient des jaunes clairs en diminuant les doses, ou bien en se servant de bains ayant déjà fourni des colorations foncées.

Fustet.

Le seul reproche qu'on puisse faire au fustet comme matière tinctoriale résulte de son peu de résistance à l'air. Il ne donne aucune nuance bon teint. Cependant son usage est considérable dans la teinture sur mérinos, parce que les nuances auxquelles il conduit ne peuvent être produites par d'autres matières.

On peut l'employer avec le tartre et l'alun, lorsque les couleurs qu'on veut produire n'exigent pas une grande fraîcheur. La meilleure préparation qui lui convienne est le tartre additionné de composition d'écarlate.

On procède de la manière suivante: on fait un bouillon de sel d'étain et de tartre; on y ajoute la décoction de bois de fustet. On mène jusqu'à ce que le drap ait la teinte voulue. Pour obtenir des nuances claires, il est indispensable d'éviter l'ébullition, parce qu'à cette température le fustet s'altère et produit une couleur d'une nuance plus ou moins rousse qui se trouve fixée.

Pour préparer le bain de teinture, on commence par remplir la chaudière de l'eau la plus pure; si l'on a de l'eau de pluie ou de l'eau de puits, on la filtre pour éliminer toutes les matières étrangères qui pourraient maculer le tissu. On rince la chaudière chaque fois qu'on la monte avant la filtration. On fait bouillir, on jette alors le bois dans le bain, enfermé dans un sac de toile; on maintient l'ébullition pendant une demi-heure au plus; le bain chargé de matière colorante est d'un brun foncé. Une étoffe plongée dans le bain ne se colorerait qu'en jaune fugace. Le tartre et la composition d'étain fixent la matière sous forme d'un précipité d'un jaune vif. On versedonc, avant de plonger les pièces, la composition d'écarlate et le tartre; on pallie bien et on plonge les pièces; on les mène vivement jusqu'à ce qu'elles aient atteint la nuance voulue; on fait sortir les pièces du bain au moins deux ou trois fois, parce que le ton s'égalise bien mieux par cette exposition à l'air. Pour remplacer la décoction qui s'épuise, on place le nouet qui tient le fustet une seconde fois à l'ébullition, et on ajoute une nouvelle quantité de tartre et d'écarlate pour remplacer la portion de ces sels enlevée par les tissus.

D'après M. Chevreul, pour teindre 10 kilos de laine, on amène presqu'à l'ébullition le liquide de la chaudière; on lu garnit avec 1,200 gr. de crème de tartre et 700 gr. de dissolution d'étain pour l'écarlate, on ajoute le sac de toile qui contient le fustet, et lorsque le bain est légèrement coloré, on entre les laines; on rotire le sac et les laines sont lissées jusqu'à la nuance. Quand on a fait l'échantillonnage, on lève et on rince. Si l'on veut arriver à la nuance dorée, lorsque les laines ont reçu le pied de jaune jugé convenable, il faut lever les laines et verser dans le bain plus ou moins de cochenille moulue, tout en manœuvrant la mise pour arriver au ton demandé, bouton d'or ou jaune foncé.

Curcuma.

Quoique le jaune s'obtienne souvent sur soie par le moyen de la gaude, on emploie quelquefois le curcuma; c'est surtout pour préparer les jaunes modifiés par le bleu pour produire du vert. Le curcuma donne des nuances peu solides.

On fait en Chine un grand usage du curcuma longo, qui senomme *kiang-hoang*, et qu'on trouve très-répandu dans les provinces de Kouang-Toung, de Kouang-Si, de To-Kien, de Tehé-Kiang, de Sse-Tchouen. C'est la teinture jaune le plus en usage et le meilleur marché. On la rend plus durable en donnant un pied de *hoang-teng* (rotin jaune); le curcuma ne coûte guère, en poudre, que 80 centimes le kilog.

Pour employer le curcuma, on verse de l'eau bouillante sur la matière en poudre, on pallie, on laisse reposer, puis on décante; on ajoute un petit verre de jus de citron pour 600 gr. de curcuma, et 2,400 gr. de curcuma pour 600 gr. de soie soumise à la teinture. Quelques teinturiers préfèrent le vinaigre au jus de citron; d'autres ne font aucune addition d'acide.

Acide picrique.

C'est à la teinture des soies que M. Guinon a le premier appliqué l'acide picrique. Nous avons donné plus haut la manière de préparer cet acide dans un état de pureté suffisante pour les besoins de la teinture.

La dissolution d'acide picrique étendue d'une quantité d'eau convenable, mais en rapport avec la nuance qu'on veut produire, est mise dans le bain; il n'est besoin d'aucun intermédiaire pour favoriser la combinaison de la matière colorante avec la soie. On doit opérer à la température de 30 ou 40 degrés pour que la réaction se fasse bien également; à leur sortie du bain, les soies teintes par l'acide picrique doivent être mises au séchoir sans aucune opération ou lavage.

L'acide picrique est appliqué depuis assez longtemps à la teinture des couleurs vertes et jaunes rompues sur mousselines laines. Les précautions à prendre sont les mêmes que lorsqu'il s'agit de la soie; il est seulement nécessaire d'élever un peu plus la température du bain, surtout pour les nuances foncées.

On ne peut reprocher à cette teinture que son altérabilité sous l'influence des lavages répétés.

Rocou.

Lorsqu'on fait usage du rocou, qui donne les nuances jaune orangé, comme nous l'avons dit, on facilite la dissolution en ajoutant au bain de petites quantités d'alcali, qui détruisent encore une partie de la teinte rouge provenant de l'altération à l'air de la matière colorante jaune. Le rocou, coupé par morceaux, mêlé de son poids de cendres gravelées, est amené quelque temps à l'ébullition dans une chaudière, et le bain est prêt. La laine est manœuvrée jusqu'à la nuance voulue. On peut modifier la nuance avec des additions de matières colorantes qui teignent la laine; mais rarement on fait usage de rocou pour teindre les draps, parce que la nuance n'est pas solide, et parce qu'on peut arriver à cette teinture par d'autres principes plus résistants; on s'en sert donc exclusivement pour les soies.

Teinture de la soie. — Lorsqu'on veut teindre en aurore, en orange, en rouge orangé, les soies sont cuites dans le savon, à raison de 20 parties pour 100; elles sont dégorgées et plongées dans une dissolution alcaline de rocou qui fait fonction de bain de teinture; le bain est chargé suivant la nuance qu'on veut obtenir; on le porte à 60 degrés à peu près. On manœuvre, on lève et on tord pour échantillonner. Si la teinte n'est pas assez foncée, on abat de nouveau pour lisser, retordre et rincer. Lorsque la nuance est au point voulu, deux battues en rivière éliminent l'excédant du rocou

non combiné. La teinte aurore est produite par le rocou seul; pour les nuances orange et rouge orangé, il faut en virer, ou rougir par une addition de principe colorant rouge.

On vire au rouge les soies teintes en aurore au moyen d'une passe dans une eau chargée de vinaigre, d'alun ou de jus de citron. L'acide détruit la combinaison de la matière colorante avec l'alcali qui facilitait la dissolution. Le rocou reprend la couleur rouge qui lui est propre. Pour les nuances très-foncées, les soies teintes au rocou, virées au rouge par un bain d'alun, sont encore montées par un nouveau passage ou dans le bain de brésil, ou dans un bain de carthame. On se sert à cet effet des vieux bains de safranum. On doit sécher à l'abri du contact de la lumière les soies teintes avec le rocou.

Teintures des cotons. — Lorsqu'on veut teindre le coton au moyen du rocou, le bain se prépare en broyant cette matière avec le double de son poids de carbonate de potasse; on laisse déposer le liquide après l'avoir pallié convenablement. On transporte dans un bain chauffé pour y entrer le coton. On ajoute du tartre pour que le bain devienne légèrement acide; on lisse le coton; on le tourne, s'il est en pièces. La couleur devient ainsi très-vive et très-unie. On termine par un léger lavage; on sèche dans une étuve.

6. Teinture en nuances composées.

Nous avons pu voir, d'après les nombreuses substances énumérées ci-dessus, la richesse des ressources que la science moderne a mises à la disposition des teinturiers. On se ferait une idée bien fausse de la variété des nuances que le consommateur peut demander, si l'on perdait de vue que toutes les matières colorantes dont les propriétés chimiques sont voisines peuvent se mélanger en quelque sorte en proportions indéfinies, et que la transparence de la plupart de ces couleurs permet de les placer les unes sur les autres, et de préparer ainsi par voie de superposition des tons mélangés très-variables, et tout aussi brillants que ceux qui peuvent provenir de mélanges solubles. Comme le premier pied ne sature pas la fibre, on peut faire prendre à l'étoffe de nouvelles couleurs dans des bains chargés de matières colorantes différentes.

Le cortége des couleurs composées vives et brillantes que l'industrie produit est tellement varié, qu'on est forcé pour les nommer d'aller chercher des noms pris dans toute sorte de langues et de notions, dans tout ordre d'idées, etc.; on peut les ramener, ainsi que nous l'avons dit, à quatre classes distinctes.

Ce que nous avons indiqué sur la teinture en rouge, en jaune, en bleu nous dispense de plus grands détails; nous nous bornerons à l'énoncé de quelques principes généraux.

Nous distinguons:

1° Les nuances formées de jaune et de bleu, formant le *vert et ses dégradations*;

2° Les nuances formées de rouge et de bleu, formant le *violet et ses dégradations*;

3° Les nuances de jaune et de rouge, formant l'orangé, l'orangé et ses dégradations.

4° Nous rangerons dans la quatrième classe toutes les nuances qui participent à la fois du bleu, du jaune et du rouge. Elles se subdivisent en trois séries suivant que l'une d'elles domine par rapport aux autres.

Dans les *marrons* et les nuances qui l'environnent, le rouge domine; dans les verts olive et les nuances dérivées, c'est le jaune qui se trouve en excès. La 3e série contient les couleurs dites tête de nègre et les tons qui s'y rapportent dans lesquels le bleu semble dominer.

Les noirs et les gris appartiennent à la série neutre dans laquelle ni le bleu, ni le rouge, ni le jaune ne sont en excès, chacune de ces nuances étant en proportion convenable pour se neutraliser complétement. Les gris sont formés par du noir auquel se mêle plus ou moins de fibre blanche non colorée. Nous avons vu qu'on devrait, pour obtenir chacune de ces nuances douées d'une grande solidité, qu'elles soient pures en se classant dans la 1re, 2e ou 3e série, former le fil de laines blanches et de laines colorées dans la nuance la plus foncée.

Teintures en jaune et bleu.

(Verts, verts bleus et verts jaunes.)

Pour teindre en vert, on commence par teindre en bleu; on rince, on teint en jaune. Lorsqu'on teint de la laine, il faut choisir comme teintures celles qui ne sont pas altérées au foulonnage, c'est-à-dire par le contact avec les alcalis. Nous avons vu que certains mélanges qui peuvent s'employer exactement dans les mêmes conditions teignent immédiatement en vert; mais en général, à l'exception de vert de Chine, ces nuances n'ont pas un grand éclat à la lumière artificielle. Pour qu'un vert soit brillant à la lumière d'une lampe, par exemple, il faut que le bleu et le jaune qui le composent le soient aussi pris isolément. Or on a remarqué que beaucoup de bleus se dénaturent le soir en tournant en violet et même au pourpre, en même temps que les jaunes ou faiblissent ou tournent à l'orangé. Il est évident que l'harmonie du vert sera détruite le soir et que l'impression sur l'œil sera celle d'un mélange de bleu, de rouge et de jaune, c'est-à-dire d'un ton plus ou moins rabattu.

La graine de Perse fournit un jaune brillant même à la lumière artificielle, bien qu'il vire légèrement à l'orangé; mais en supposant qu'on ne puisse en faire usage, on trouverait dans les analogues du hoai-hoa et du boeng-tchi un jaune satisfaisant à toutes les conditions.

Quant au bleu, l'indigo, soit dans le bleu de cuve, soit dans le carmin d'indigo, le fournirait dans l'état convenable, si l'on avait le soin d'éloigner du bain le pourpre d'indigo et le phénicine qui modifient la nuance des bleus en altérant leur pureté. Lorsqu'on a préparé le bleu convenablement purifié, lorsqu'on a saturé d'oxyde d'étain une lessive faible, on sature cette dernière d'indigo ou de sulfate d'indigo. On plonge alors dans cette cuve montée par l'étain les tissus à teindre pour obtenir un bleu de ciel pur au ton voulu; on donne sur ce premier pied de bleu le jaune en rapport avec la nuance verte qu'on veut préparer. M. Persoz a composé de cette manière des verts brillants à la lumière, qui se rapprochaient beaucoup de celui que fournit le lo-kao des Chinois.

Teinture en violet, rouge et bleu.

(Violet, pourpre, amarante et cramoisi.)

Lorsqu'on forme le *violet* par la superposition du rouge et de l'indigo, les deux nuances doivent avoir la même intensité. Il faut fixer d'abord la nuance bleue par la cuve d'inde, ou toute autre cuve d'indigo, terminer par la rougie. Telle est la méthode dont on ne s'écarte pas. Si l'on commençait par appliquer la cochenille, le rouge serait en partie détruit par la réaction de l'alcali nécessité par la cuve d'indigo. Il faudrait exagérer la dose de cochenille, c'est-à-dire augmenter la dépense.

La couleur *pourpre*, dans laquelle le rouge est en plus forte proportion que dans le violet, se prépare au moyen du campêche, de l'alun, du tartre et du sel d'étain comme bouillon; on bleuit avec le campêche; dans cette préparation, le rouge est fourni par la réaction du bouillon acide sur le campêche.

Le *cramoisi*, plus rouge encore que le pourpre, provient de la cochenille qui donne avec les diverses préparations métalliques des nuances plus ou moins jaunes; on la fait virer au moyen des alcalis; l'ammoniaque est généralement préférée.

L'amarante, plus rouge que le cramoisi, s'obtient avec une moins grande dose de bleu; on teint comme pour le cramoisi que nous venons de voir. On surcharge avec du bleu qu'on tire du campêche ou du sulfate d'indigo. On teint en rouge d'abord, on passe ensuite dans le bain de bleu.

Nous ne voulons pas allonger cet article en donnant des compositions variées pour produire sur laine, sur soie et sur coton, les nuances en quelque sorte innombrables qui tiennent du rouge et du bleu. Nous nous bornerons à transcrire les doses indiquées par M. Chevreul pour préparer le violet sur laine.

Teinture de la laine en violet. — On prend, d'après M. Chevreul, pour 40 kilog. de laine à teindre en violet fin, 4 kilog. d'alun, 2 kilog. de crème de tartre pour monter un bouillon; on manœuvre les laines au bouillon pendant un quart d'heure; on lève et on évente. Après avoir rafraîchi le bain, on ajoute de la cochenille ammoniacale et du carmin d'indigo dans des proportions déterminées par la nuance que l'on veut obtenir; on lisse jusqu'à la hauteur demandée; on lève et on lave.

On peut remplacer la cochenille par le bois de Campêche. On monte le bouillon avec 2,500 gr. d'alun, 1,250 gr. de crème de tartre et 1,250 gr. de composition d'étain; on fait bouillir pendant une heure et demie; on lève, on met au frais et on laisse sur le mordant pendant trois jours; on rince et on monte un bain faible de campêche à 70 degrés; on lisse jusqu'à la nuance voulue.

Teinture de la soie. — On se sert pour teindre le soie dans les nuances violettes soit de cochenille et de bleu de cuve, ou de bois de Brésil, soit d'orseille. Le violet fin se fait avec la cochenille et le bleu de cuve.

Pour obtenir le violet fin, on prépare la soie, puis on lui donne la rougie par la cochenille, comme pour avoir le cramoisi; seulement, on ne met dans le bain ni crème de tartre ni dissolution d'étain; on met plus ou moins de cochenille, suivant la nuance qu'on veut faire. On prend ordinairement, pour un beau violet, 16 kilog. pour 100 kilog. de soie. On teint, on lave à la rivière en donnant deux battures; on passe ensuite dans une cuve plus ou moins forte, suivant la hauteur du bleu qu'on veut superposer. On lave et on sèche avec précaution.

Lorsqu'on remplace la cochenille par le bois de Brésil, on obtient des nuances qui peuvent ne pas manquer d'un certain éclat, mais qui ne sauraient être considérées comme résistantes.

Teinture en jaune et rouge.
(Écarlate, orange et rouge orangé.)

On donne le nom d'*écarlate* à la couleur que forme la cochenille précipitée par un sel d'étain. Dans ce cas, le jaune que prend l'étoffe paraît résulter de la destruction d'une partie de la cochenille employée. On a donc économie à joindre à la cochenille, pour en diminuer le poids, une matière colorante jaune. On a donné la préférence au fustet et au curcuma. On obtient toutes les nuances qui dérivent de l'orange en variant les doses de la composition d'étain, de la cochenille et des matières colorantes jaunes (fustet, curcuma, gaude, etc.).

7. Teinture en noir.

On sait que le composé formé par l'oxyde de fer, l'acide gallique et le tanin, qui constitue l'encre ordinaire, d'un gris violet, lorsqu'il est étendu, paraît noir quand il est concentré, et qu'il peut servir à la teinture en noir des laines, des soies, du fil et du coton; on l'associe généralement aux composés formés par les sels de cuivre et le campêche.

Teinture de la laine. — D'après M. Chevreul, pour teindre en noir la laine en écheveaux, on commence par la lisser dans un bain de carbonate de soude à 2 degrés Baumé et à 5 degrés centigrades pendant environ une demi-heure; on rince à l'eau courante, puis on fait bouillir avec de l'eau qu'on a légèrement étendue d'alun; on donne un bouillon de quelques minutes, puis on laisse déposer le bain, qu'on tire à clair dans une barque en bois. La température étant descendue vers 70 degrés, les laines sont placées dans un panier à claire-voie, de dimension telle qu'il puisse descendre facilement dans la barque. On presse les laines, puis on les descend dans le bain, de manière qu'elles y plongent entièrement. On les laisse tremper une heure ou deux, on les retire ensuite pour les rincer; elles sont dans cet état disposées pour la teinture.

On passe dans un bouillon qui contient 500 gr. de sulfate de fer et 4 kilog. de tartre rouge; on rince à fond. On monte un deuxième bain avec du campêche qu'on fait tourner avec un peu d'acétate de cuivre; on y lisse les laines jusqu'à ce que le noir soit suffisamment monté; on rince pour enlever toutes les molécules qui ne sont pas adhérentes.

Lorsqu'on veut teindre de la laine en pièce comme des draps, en commence par leur donner un pied de bleu de cuve qui fournit un noir plus solide avec une nuance toujours plus pure et plus intense.

Les proportions auxquelles on accorde généralement la préférence sont 5 kilog. de noix de galle, 30 de bois de Campêche, et 5 de sulfate de fer pour 100 kilog. de drap. Voici comment on procède dans d'autres localités:

Pour 110 à 120 mètres de drap passés au bleu de cuve, on prend 5 kilog. de noix de galle, 4 kilog. bois d'Inde, 4 kilog. de sulfate ou de pyrolignite de fer, 1 kilog. d'acétate de cuivre; on mélange à 100 degrés. Quand le bain est bien noir, on partage la liqueur en trois parties; le premier tiers est refroidi jusqu'à 40 degrés; on y trempe l'étoffe qu'on manœuvre sur le tour. On lève et on évente; on ajoute dans la liqueur le deuxième tiers, auquel on mélange 3 à 4 kil. de sulfate de fer; on trempe, puis on lève et on évente de nouveau; enfin, on ajoute le dernier tiers, puis 1 kilog. de sulfate de fer et 2 à 3 kilog. de sumac; on élève à l'ébullition, on trempe l'étoffe, après avoir rafraîchi, on lève, on évente, on rince et on foulonne; on rince à la rivière.

On opère plus simplement encore en passant le drap bleu sur un bain de noix de galle bouillant pendant deux heures; on le passe ensuite dans un bain de bois d'Inde et de sulfate de fer sans faire bouillir. On lave et on foulonne.

On trouvera dans les ouvrages spéciaux des milliers de dosages qui tous oscillent autour de ceux que nous venons de donner. Les méthodes sont variables avec les localités; le tanin est fourni tantôt par une plante, tantôt par une autre; le commerce distingue donc les noirs ou d'après le nom de la localité qui la fournit, ou du nom des ingrédients qui composent le bain; on connaît le noir de Sedan, le noir de Vienne, le noir de Béderrieux, le noir de Montauban, le noir au chromate, le noir au pudis, etc.

On donne le nom de *noir à la jésuite* au noir brillant fait à l'aide d'un appareil particulier qui permet le contact de l'air pendant la teinture même. Le tour est placé à 3 mètres au-dessus de la chaudière, de façon qu'il y ait toujours 6 mètres de drap hors du bain et en contact avec l'atmosphère. On prépare, comme dans les autres fabrications, une décoction de noix de galle,

de sumac et de campêche; on plonge les tissus à 100 degrés pendant une heure ou deux, on abat, on évente jusqu'à ce que la mise soit refroidie. On ajoute au bain un demi-kilog. d'acétate de cuivre par pièce de 15 mètres; on plonge l'étoffe et on la mène pendant deux heures à l'ébullition; on abat et on évente pour faire refroidir; on verse alors dans le bain du protosulfate de fer qu'on utilise dans la dernière passe des tissus. L'action de l'air, pendant que la pièce circule à sa sortie du bain, facilite l'oxydation du protoxyde de fer; on obtient une coloration plus uniforme et plus intense.

Teinture de la soie. — Quoique la soie grège prenne la teinture en noir très-facilement, il est nécessaire de la cuire pour que la coloration soit régulière et brillante.

On fait décreuser la soie par une ébullition avec le cinquième de son poids de savon; on maintient l'ébullition pendant quatre ou cinq heures; on blanchit au soufre et on teint après un nouveau lavage avec une eau légère de savon blanc.

On passe la soie décreusée dans un fort bain de galle, ordinairement de 8 kilog. pour 10 kilog. de soie. On fait bouillir et on laisse dans le bain refroidi pendant trente-six heures; on lève, on rince et on tord. On passe ensuite dans un bain de sulfate de fer; on rince et on lave à l'eau de savon. Au lieu de sulfate de fer on peut employer le pyrolignite de fer à 5 degrés Baumé; on tord à la cheville et l'on sèche après un léger lavage. On procède ensuite à la répétition des mêmes opérations pour avoir des noirs foncés. Une ou deux teintures suffisent pour des noirs ordinaires; il en faut une troisième pour des noirs intenses; une quatrième conduit au noir pesant. Il va sans dire que chaque engallage est suivi d'un rinçage et d'une passe en eau chargée de fer, sulfate ou pyrolignite.

Pour l'engallage, on économise souvent les galles d'Alep, auxquelles on ajoute des noix de galls blanches. On fait aujourd'hui dans les villes de Lyon et de Saint-Étienne une consommation assez considérable de galles de Chine.

La teinture est dite à un, deux ou trois *feux*, suivant qu'elle a reçu une, deux ou trois teintures superposées. La nuance sera d'autant plus égale qu'on aura lissé avec une plus grande régularité, suivant aussi qu'on aura tordu plus complétement. On adoucit par un passage en savon.

On doit à M. Michel, de Lyon, une intéressante notice sur la teinture des soies en noir, dans laquelle il fait connaître les observations qu'il a faites pendant une pratique de plus de quarante ans.

Le tanin de châtaignier, qui se trouve sous le poids de 6 p. 100 dans les bois passés, trop vieux pour être consommés comme bois de chauffage, lui paraît être le plus convenable pour le noir *à la galle*.

L'infusion des copeaux de châtaignier faite à froid est d'une couleur fauve clair. Si on filtre l'infusion pour l'avoir bien limpide, elle ne tarde pas à se troubler et à laisser déposer une poudre d'un blanc sereux qui augmente par l'ébullition; c'est de l'acide ellagique. Par la fermentation spontanée qui se développe dans une infusion faite à froid ou concentrée jusqu'à marquer 10 à 12° Baumé, l'acide tannique se transforme en acide gallique; dans un liquide qui marque 20° cette transformation n'a plus lieu, et le liquide se conserve indéfiniment; si la température de la décoction n'a pas dépassé 50°, le liquide peut s'étendre d'eau sans aucune décomposition; mais si la température a dépassé 60°, il se forme un corps nouveau qu'on peut comparer à l'acide ulmique et qui ne sert plus à l'engallage; il se précipite quand on étend d'eau. Ces circonstances limitent les conditions dans lesquelles le tanin de châtaignier peut être utilement préparé pour la teinture des soies.

Les pieds-de-noir étaient originairement très-compliqués. D'après M. Michel, l'oxyde de fer doit se trouver dans le bain au minimum d'oxydation et à l'état neutre; de là, nécessité d'ajouter de la limaille de fer aux bains de noir; l'emploi de la gomme, du sucre et d'une petite quantité de bitartrate de potasse lui paraît nécessaire pour les bains permanents; ils s'opposent à la précipitation d'une partie du composé noir formé dans la liqueur au contact de l'étoffe engallée: la gomme turi semble de toutes les gommes celle qui donne le meilleur résultat dans les bains très-denses.

La composition ferrugineuse la plus convenable est un mélange à poids égaux de sulfate, de protoxyde de fer et de pyrolignite.

Dans ces conditions, l'ancien bain qu'il fallait maintenir à 35° Baumé se remplace par un bain de 1 à 2° Baumé que chaque teinture épuise.

Ce nouveau procédé apporte une grande régularité dans les opérations, une grande économie dans les fournitures, comme dans la main-d'œuvre; il débarrasse de la crainte continuelle d'altérer les soies.

L'économie dans les fournitures consiste dans la suppression des matières gommeuses, et de tous les ingrédients que l'empirisme avait entassés dans les pieds-de-noir. Quant à la main-d'œuvre, elle est bien simplifiée; avec les bains denses et gommeux, il faut cinq ou six fois tordre fortement à la cheville les soies chaudes, les secouer vivement pour faciliter l'oxydation. Avec les bains faibles et sans gomme, il suffit, après chaque immersion, de lever les soies et de les placer sur deux grandes barres, où l'air les oxyde pendant qu'on réchauffe le bain pour l'immersion suivante.

Teinture du coton. — On apporte une grande économie dans la teinture en noir de la fibre du coton en faisant usage de pyrolignite de fer préparé, comme nous l'avons dit en parlant des préparations ferrugineuses.

On commence, d'après Vitalis, par engaller 100 kil. de coton avec 16 kilog. de noix de galle. On peut ajouter à la noix de galle du sumac et du bois d'Inde; alors, on diminue la dose de noix de galle; on donne un premier bain à 50 degrés à peu près; le coton trempe quatre à cinq heures; on lève, on tord et on fait sécher au plein air si le ciel est pur, sous des hangars si le temps est couvert.

Lorsque le coton est bien sec, on le plonge dans un bain d'eau tiède qui contient la quantité de pyrolignite de fer en rapport avec la nuance qu'on veut obtenir. On manœuvre pendant une demi-heure, en lavant, éventant, rebattant et menant de nouveau la mise pour égaliser la teinture. On engalle de nouveau, puis on donne sans sécher une nouvelle passe dans le bain de pyrolignite de fer; dans ce cas, l'engallage et le bain ferrugineux sont un peu plus faibles. On répète encore ces deux opérations à la suite l'une de l'autre sans sécher; on lève, on évente pendant un quart d'heure, puis on lave et on fait sécher.

On donne au coton teint en noir une assez grande souplesse en le passant, après la teinture, dans un bain blanc semblable à celui dont on fait usage dans la fabrication du rouge d'Andrinople. A cet effet, on verse sur une partie d'huile tournante 36 à 40 parties d'eau chargée de soude marquant 1 degré Baumé; on emploie 60 gr. d'huile pour 1 kilog. de coton. On tord et on fait sécher, on lave à l'eau courante, on bat et on sèche de nouveau pour la dernière fois. On peut ajouter encore à la solidité du noir en associant à l'engallage une décoction de gaude, qui donne un principe jaune ca-

pable d'absorber ceux des rayons dont l'influence destructrice sur la teinture en noir est le plus à redouter.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les méthodes appliquées jusqu'à ce jour à l'art de la teinture; on pourra voir la variété des couleurs qu'il est possible de produire en variant la composition des bains et les superpositions que les caractères spéciaux des matières colorantes rendent industriellement praticables. Nous terminerons par un aperçu succinct sur les rapports qui lient la teinture proprement dite avec l'art de l'indienneur, c'est-à-dire l'art d'imprimer sur tissus. Nous dirons enfin quels sont les procédés auxquels le fabricant peut et doit recourir pour reconnaître la nature de la matière colorante employée pour produire un effet donné, que cet effet soit produit par un tissu teint en uni, ou par une étoffe imprimée.

§ XIV. DE LA TEINTURE

considérée dans ses rapports avec l'impression.

Les détails dans lesquels nous sommes entrés, quelque variés qu'ils soient, ne donnent encore qu'une idée bien imparfaite de l'étendue des services que la teinture rend aux arts vestiaires. Nous n'avons en effet compris dans tout ce qui précède que la fabrication des fonds unis. Or, rien ne saurait égaler le nombre illimité des dessins qu'on peut obtenir au moyen de la teinture quand on sait associer ses méthodes à celles de l'impression proprement dite. Nous pouvons supposer que le tissu qu'il faut teindre a reçu par une première impression ou des dessins sur lesquels la couleur ne prendra pas (réserve mécanique), ou des dessins d'une nature telle qu'ils s'opposeront à l'adhérence de la teinture qu'on veut appliquer par immersion (réserve chimique), ou des dessins faits avec des matières qui modifieront la nuance déposée par le bain (couleurs conversions); la teinture vient alors après l'impression des réserves mécaniques et chimiques, et des couleurs conversions; dans d'autres cas, on procède d'abord à la teinture et sur le fond uni on vient appliquer par le moyen de l'impression soit des rongeants capables de détruire la couleur du fond (enlevages), soit des dessins qui se superposent aux fonds pour en modifier la teinte ou par superposition, ou par conversion.

Supposons pour fixer les idées qu'on veuille obtenir un fond bleu avec des figures s'enlevant sur le fond.

Deux cas peuvent se présenter : on la figure est assez foncée pour absorber complétement la couleur du fond, on l'imprime alors directement, ou la couleur du fond ne peut être absorbée; il faut alors réserver les figures, c'est-à-dire qu'il ne faut appliquer aucune couleur sur les parties qu'occuperont ces figures, soit qu'on les réserve, si le fond se pose le premier, soit qu'on ne les couvre pas, si le fond se pose en dernier lieu. Cet exemple, que nous allons étudier sous toutes ses formes, nous fera comprendre les services que se prêtent mutuellement la teinture et l'impression, qu'on ne devrait pas séparer, car elles ne forment qu'une même industrie.

La réserve se fait au moyen de la gravure qui ne se charge pas de couleur et qui ne la dépose que sur les places voulues, en respectant celles qui doivent rester blanches. Si l'on imprime le mordant, une passe dans un bain fixera le fond. La réserve se fera encore au moyen d'effets mécaniques ou chimiques destinés tantôt à prévenir l'adhérence d'un fond sur certains points donnés (c'est *imprimer une réserve*), tantôt à enlever en tissu pour obtenir des dessins blancs ou colorés, (c'est *imprimer un enlevage.*) On combine donc, pour préparer les tissus imprimés et les méthodes de l'impression et la teinture proprement dite, qu'on pourrait appeler par voie d'*immersion.*

Quant à multiplier les effets avec le moins de main-d'œuvre possible, la chimie apprend à préparer des mélanges qui peuvent agir à la fois comme réserves, comme enlevage, et même comme couleurs conversions, et l'on admettra sans peine que la meilleure des couleurs sera celle qu'il sera possible

1° De fixer sur une étoffe de manière à produire des dessins blancs sur un fond coloré, ou des fonds colorés avec un dessin blanc réservé;

2° De ne pas fixer en entravant l'adhérence par une réserve;

3° De ronger pour la faire disparaître;

4° D'imprimer comme réserve pour un fond donné;

5° D'imprimer comme enlevage sur un fond quelconque;

6° De convertir en des nuances plus ou moins foncées ou plus ou moins claires et plus ou moins en rapport avec la couleur primitive.

Pour épuiser ce sujet reprenons notre fond bleu sur lequel on demande de fixer une rose jaune, par exemple; six méthodes se présentent. La plus simple sera naturellement préférée. On peut :

1° Imprimer à la planche le bleu comme fond, le jaune comme rentrure;

2° Imprimer à la planche le jaune comme fleur, le fond comme rentrure;

3° Imprimer un jaune composé de telle sorte que le bleu ne se fixe pas sur lui, puis teindre en bleu. Le jaune est dit *réserve sous bleu;*

4° Imprimer sur le bleu, mis par teinture, un jaune qui détruise le bleu en conservant sa couleur propre. Le jaune est dit alors *jaune enlevage sur bleu;*

5° Teindre en bleu, imprimer un enlevage blanc et rentrer la fleur jaune (enluminage);

6° Teindre en jaune, imprimer un enlevage blanc et rentrer le fond bleu (enluminage).

Sur ces six méthodes, quatre exigent la réunion des procédés de la teinture proprement dite et de l'impression. Et, dans certains cas encore, pour les deux premières, serait-on forcé d'imprimer les mordants et de passer ensuite dans les bains de teinture. On le voit, cet exemple, des plus simples, met en relief l'importance de la teinture dans l'art de l'indienneur. Au surplus, il ne faudrait pas croire que dans le cas où la teinture proprement dite est employée pour la confection des toiles imprimées il faille autant d'immersions que de nuances. On trouve dans les genres garancés, monochromes, dessins fond sur fond ou polychromes, des dessins très-variés qui résultent de la coloration différente que prend la dissolution de garance avec les différentes préparations métalliques qu'on a préalablement imprimées. Si les impressions successives apportent sur le tissu des épaisseurs variées d'une même préparation, ou des épaisseurs également variées de préparation différente, un même bain de garance fixera sur l'étoffe des dessins dégradés d'une même couleur, ou des dessins dégradés de couleurs également variées. On sait que les préparations d'alumine, de fer, d'alumine et de fer, forment avec la garance des dessins rouges, roses, lilas, gris, etc.

Nous ne saurions étudier d'une manière complète ici l'art de l'imprimeur sur étoffes; nous renvoyons le lecteur à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFE que contient le premier volume de ce Dictionnaire. On y trouvera le détail des outils nécessaires et des différents modes de faire, suivant qu'on imprime en creux ou en relief, en une ou plusieurs couleurs, d'une manière intermittente ou continue. Nous nous bornerons à représenter une classification des diverses matières qu'on appose avant ou après la teinture, et qui jouent le rôle de ce que nous avons appelé *réserve* ou *enlevage*.

Le rôle de ces divers agents est trop directement lié, tant au point de vue chimique qu'au point de vue

mécanique, à la nature des matières colorantes apportées par les bains, pour qu'un exposé méthodique concernant ces éléments de la décoration des tissus ne complète pas rigoureusement les études que nous avons présentées dans cet article. D'ailleurs cette exposition, différente de celle qu'on peut lire dans l'article impression, fixera les idées.

Réserve. — Toute substance choisie de manière à s'opposer à la fixation d'une couleur qu'on pose par immersion ou même par placage sans modifier la couleur, sans altérer le tissu, sans s'opposer à l'adhérence de la couleur sur les autres points, fait fonction de *réserve*. Si la réserve laisse apparaître la couleur propre du tissu, c'est un *blanc réserve* qu'on emploie. Si la réserve laisse sur le tissu, postérieurement à la teinture, une nuance donnée sur les points réservés, c'est *une couleur réserve* qu'on applique. Les réserves doivent être composées de telle sorte qu'elles disparaissent aisément après avoir joué leur rôle. Primitivement les réserves se composaient de cire qu'on posait au pinceau sur les parties qu'il fallait protéger. Aujourd'hui les réserves agissent en vertu de principes bien différents; elles sont ou *mécaniques*, ou *chimiques*, ou *physiques*.

La réserve agit rarement en vertu d'un seul principe; elle peut être appliquée soit à l'égard du mordant, soit à l'égard de la couleur proprement dite. Une réserve mécanique, par exemple la cire, protégera d'une manière tout aussi certaine le tissu de coton, qu'on l'applique sur l'étoffe elle-même sans préparation ou sur l'étoffe préalablement plaquée (*mordancée*).

La *réserve mécanique* se compose de réserve de cire, de graisses, de corps gras huileux, d'huiles essentielles.

La *réserve chimique* agit sur la teinture en précipitant, par exemple, la matière colorante avant son contact avec la matière textile; d'autres fois, elle peut détruire la matière colorante et la décolorer, l'altérer seulement dans d'autres circonstances; l'action chimique peut se porter sur un seul ou sur tous les éléments : il faut se guider dans le choix qu'on en peut faire d'après le degré de résistance de la couleur et du tissu, la saturation et la réaction acide ou basique de la couleur.

La *réserve physique* agit matériellement en absorbant la matière colorante et s'opposant à l'action de la fibre; la terre de pipe est la réserve par excellence; les corps insolubles, comme les sulfates de plomb, de baryte, etc., peuvent être employés concurremment.

Enlevage. — Faire naître, sur un fond uni, teint ou préparé par impression, une coloration blanche ou différente, tout en respectant la solidité du tissu, tel est le but de l'enlevage. Son mode d'action se définit: l'altération par nouvelle combinaison ou par destruction de la couleur qui forme le fond uni. C'est donc une réaction chimique se décelant par une dissolution de la matière déposée, ou par une destruction du principe coloré. On distingue les *acides* et les *rongeants*.

La couleur est-elle complétement détruite, laisse-t-elle apparaître l'étoffe blanchie, l'enlevage est dit *blanc enlevage*. On porte l'énergie de l'enlevage tantôt sur le mordant quand la couleur exige pour la teinture une préparation métallique, tantôt sur la matière organique lorsque la couleur adhère sans intermédiaire, tantôt sur la matière colorante organique et sur le mordant quand la matière colorante n'a pu se fixer qu'avec un auxiliaire métallique, tantôt enfin sur la matière inorganique lorsque celle-ci fait fonction de matière colorante. On obtient ces divers résultats par les acides, par une sorte de combustion de la matière colorante, par une dissolution et une combustion simultanée, par divers moyens appropriés aux caractères de la matière minérale, lorsque celle-ci se trouve être la cause de la coloration.

Les *enlevages acides* agissent ou par dissolution de la préparation métallique, ou par formation d'un composé dans lequel l'oxyde est masqué, ou par une transformation résultant d'un mouvement moléculaire capable de rendre l'oxyde insensible au contact de la matière colorante avec lequel il cesse de se combiner.

Les acides employés sont les acides oxalique, tartrique et citrique.

Les *enlevages comburants* agissent principalement sur les couleurs produites par la matière organique; l'acide chromique, le chlorure de chaux, l'acide hypochloreux, qui brûlent les matières colorantes ou les altèrent en les décolorant à la façon du chlore, peuvent être regardés comme les types de ces espèces.

Dans un grand nombre d'enlevages on doit considérer l'action comme mixte; la partie minérale de la laque se trouve éliminée par l'acide qui la dissout et la partie organique est brûlée dans un cas, décolorée dans l'autre, par l'agent comburant.

Lorsque la couleur déposée forme une laque, un acide seul peut la détruire si les deux éléments sont solubles dans l'acide employé. Si la couleur est un véritable sel inorganique, comme un chromate insoluble, chromate de plomb, un iodure insoluble, iodure de mercure, on doit choisir, parmi tous les composés que la chimie nous apprend à manier, ceux dont l'action sur la fibre la respectera le plus.

S'il est convenable de séparer ainsi les modes suivant lesquels les enlevages agissent, il faut prendre garde de trop exagérer la valeur de cette distinction, car l'acide hypochloreux, par exemple, agit à la fois comme acide et comme décolorant. On doit à M. Saco l'introduction de l'acide hypochloreux, et le tour de main qui permet d'on faire usage; on ne peut l'employer directement en l'imprimant, tant parce qu'il se décompose rapidement, que parce qu'il attaque toutes les matières organiques avec lesquelles il est mis en contact. Or M. Saco a tiré parti de la manière dont il se comporte en présence des sels de zinc. Il suffit, en effet, de substituer les sels de zinc à l'acide tartrique pour obtenir des enlevages blancs sur les tissus colorés, en les passant dans une solution d'hypochlorite de chaux.

Cette méthode réussit à merveille. De plus, en augmentant ou en diminuant la dose du sel zincique, on augmente ou diminue l'énergie du rongeant, au point qu'on peut obtenir par ce moyen des dégradations de nuances aussi nettes, aussi pures que possible et qu'on ne saurait réaliser par aucun autre procédé.

Voici comment on doit opérer :

On imprime au rouleau sur les tissus teints et savonnés l'enlevage suivant : eau, 1,500 gr.; sulfate de zinc, 400 gr.

Quand l'impression est sèche, on passe pendant deux minutes dans un bain froid monté à 2 degrés de l'aréomètre de Baumé avec de l'hypochlorite de chaux marquant 400 degrés chlorométriques, puis on lave et on sèche. Ce nouveau procédé d'enlevage est beaucoup plus rapide, plus sûr et plus économique que l'ancien, puisque le sulfate zincique ne coûte que 30 cent. le kilog., tandis que l'acide tartrique vaut 4 fr. le kilog.

Cette réaction résulte de cette curieuse propriété de l'acide hypochloreux de ne contracter aucune combinaison avec les sels de zinc.

M. Saco, à qui l'on doit cette intéressante et féconde application, semble vouloir en reporter le mérite à M. Balard, qui a remarqué le premier l'action des sels de zinc sur l'hypochlorite de soude. Il est tout aussi juste de faire la part de l'un et de l'autre chimiste, du savant qui a découvert le fait et de l'ingénieux praticien qui en a su faire, quinze ans après, une heureuse application.

Lorsque l'enlevage est composé de telle sorte qu'il

laisse à la place de la couleur qu'il a fait disparaître une couleur différente de celle de la fibre elle-même, on fait usage d'une *couleur enlevage*. Ces composés sont peu nombreux ; ils se pourraient confondre avec les couleurs conversions, car l'effet qu'ils produisent provient de substitution de matières colorantes ou d'oxydes métalliques nouveaux à ceux que la couleur contenait primitivement. Ils résultent encore de l'altération de la nuance par des préparations métalliques appropriées.

Pour ne laisser aucun doute dans l'esprit du lecteur sur les rapports de la teinture et de l'impression, nous allons supposer deux exemples, l'un de réserve et l'autre d'enlevage destinés à produire, l'un comme l'autre, des dessins blancs sur des fonds de couleur, le premier sur bleu de cuve, le second sur rouge de garance.

Veut-on faire une réserve blanche sur bleu de cuve, on imprimera comme *blanc réserve* un mélange de 2 kilog. acétate de cuivre, 2 kilog. sulfate de cuivre, 500 gr. d'alun qu'on étendra dans 10 litres d'eau avec 5 kilog. de terre de pipe et 5 kilog. de gomme du Sénégal ; on bassinera suffisamment ; on ajoute 300 gr. de nitrate de cuivre et 300 gr. d'acide sulfurique. Le tissu imprimé, passé au bleu de cuve une ou plusieurs fois suivant le ton désiré, sort avec les réserves blanches, le mélange imprimé jouissant de la propriété de précipiter l'indigo sans lui permettre de contracter d'adhérence avec les parties réservées.

Veut-on produire un blanc enlevage sur rouge turc, deux méthodes se présentent, soit qu'on agisse sur le mordant, soit qu'on agisse après toute teinture.

Dans le premier cas, on imprime au rouleau le mélange suivant : dans 10 litres d'eau, 2 kilog. de gomme arabique, 1,500 gr. d'acide oxalique, 2,500 gr. d'acide tartrique ; on épaissit avec 3 kilog. de terre de pipe. Ce mélange dissout et fait disparaître la préparation d'alumine étendue sur toute la surface de la pièce. On garance dans le bain de rougie. La garance ne se fixe que sur les parties alunées ; le dessin apparaît en blanc sur le fond rouge.

Dans le second cas, l'étoffe est teinte en rouge uni. On imprime avec 12 kilog. acide tartrique, 8 kilog. de terre de pipe, 1 litre d'eau gommée, 1,060 gr. de chlorure d'étain à 66 degrés. On passe dans la cuve à décolorer par le chlorure de chaux très-alcalin. Le chlorure ne se trouve décomposé pour dégager du chlore que sur les points imprimés dont la réaction est acide : le chlorure détruit le rouge, et les points imprimés apparaissent en blanc.

Couleurs conversions. — A ces procédés qu'on peut varier en quelque sorte à l'infini par les méthodes de l'enluminage avec les couleurs dites de *rentrure*, il faut ajouter les ressources que peuvent offrir les *couleurs conversions*. En effet, on modifie encore les couleurs obtenues par teinture soit avant, soit après le fixage et par voie mécanique ou par voie chimique.

On agit par voie mécanique et sur la teinture et sur la préparation métallique dans le genre *frappé* ; on fait de la sorte apparaître des dessins fond sur fond. En frappant avec la planche l'uniformité de la couleur disparaît, la partie qui correspond à la planche se détache sur le fond ; lorsqu'on frappe sur le tissu simplement aluné, la teinture en garance fait apparaître des dessins d'une autre nuance que le reste du fond. On ajoute à la régularité de ce travail en se servant d'eau légèrement gommée, comme M. Broquette l'a proposé.

On sait que le gaufrage n'est que le produit de l'écrasement sur certains points des fibres ou tuyaux qui composent le tissu. La réflexion inégale de la lumière blanche produit des ombres et des lumières qui font croire à certains dessins. On les nomme *moirés*. M. Persoz range ces effets parmi ceux qu'il désigne sous le nom de *conversions mécaniques*.

On obtient des *conversions chimiques* tantôt en opérant sur les préparations métalliques qui servent d'intermédiaire pour fixer la couleur, tantôt sur les couleurs elles-mêmes avant même qu'elles soient fixées. Dans le premier cas, par exemple, en agissant sur le mordant, il est facile de convertir un dessin uni en un dessin à deux teintes, en superposant des mordants de même base mais formés de sels à différents acides, l'un décomposable spontanément, l'autre exigeant un passage dans un bain alcalin ; on passe dans le bain de teinture. Les parties surchargées d'alumine prendront une teinte foncée, les autres prendront une nuance plus faible. Un seul passage dans le bain fera ressortir des dessins monochromes et dégradés, qu'on nomme genre double teinte. On obtient encore le même effet et d'une manière plus simple ; on imprime, par exemple, et l'on plaque un mordant d'alumine chargé de nitrate d'alumine, on imprime ensuite de l'acétate de soude par places seulement. L'acétate de soude décompose le nitrate d'alumine, renforce la dose d'alumine ; il fonctionne comme *blanc conversion*. On passe au bain de bouse et l'on teint en garance ; on obtient les mêmes effets rouge fin sur fond rose.

Au lieu d'imprimer un blanc conversion sur un mordant, on peut composer deux mordants qui se convertissent à leur point de contact en des nuances plus élevées ; on prépare de la sorte des étoffes rayées dont les rayures, se coupant sous certains angles, présentent au point d'intersection une nuance beaucoup plus violette, presque noire même. Les mordants de fer et d'alumine se prêtent très-bien à ces différents genres.

On peut produire des effets conversion par une autre méthode chimique. Nous poserons le principe et nous l'appliquerons à quelques exemples. Lorsqu'une substance colorée ou colorable se trouve en mélange avec des préparations métalliques, qu'elle ne change pas l'affinité de l'étoffe pour l'oxyde, et qu'elle ne s'unit d'ailleurs au tissu qu'à la condition de certaines modifications qu'on lui fait subir, elle est capable de produire des *conversions* colorées.

Supposons qu'on veuille produire des effets de double nuance en violet ou rose passant au brun ; nous imprimerons le dessin qu'on veut convertir avec un mélange de pyrolignite de fer ou d'acétate d'alumine et d'une certaine quantité de cachou, qui ne devient adhérent au tissu qu'après une exposition à l'air ou par une oxydation sous l'influence du bichromate de potasse. En imprimant sur certains points du bichromate de potasse, on fixe le cachou de telle sorte que le teinture fait apparaître des dessins double nuance, parce qu'à la nuance du sel métallique s'ajoute celle qui convient au cachou.

Quelques sels métalliques peuvent convertir comme le fait le cachou. Si nous imprimons des bandes en aluminate de potasse auquel nous aurons ajouté quelque peu de prussiate jaune, et que sur ces bandes on imprime par places des dessins avec un mélange d'acide tartrique et d'acétate de fer, on obtient par la vaporisation des dessins en bleu de Prusse résultant de la réaction du sel de fer et du cyanoferrure ; le bousage fait disparaître le cyanure non fixé, en même temps qu'il enlève l'oxyde de fer mis en liberté par l'acide tartrique. Une passe de ce tissu dans un bain de cochenille fera ressortir le bleu de Prusse sur les bandes colorées en rose.

Les conversions chimiques s'opèrent enfin sur les colorations terminées. Un des agents le plus souvent employé pour obtenir ces sortes de conversions est le bichromate de potasse dont l'action sur les matières colorantes est des plus variées, tantôt oxydant, tantôt

déposant de l'oxyde de chrome qui se substitue, par échange de base, à la laque primitive pour donner à l'oxyde des colorations différentes et des conversions curieuses. On transforme de la sorte le campêche en noir, le quercitron en olive, la graine de Perse en jaunâtre, si l'on a précipité sur l'étoffe ces décoctions au moyen d'un sel d'alumine.

Couleurs vapeurs. — Nous ne pouvons terminer cet aperçu sur les rapports de la teinture avec l'impression sans dire au moins quelques mots, non sur la composition des couleurs vapeurs, mais sur les principes qui ont servi de base à cette industrie, et qui prennent chaque jour une extension nouvelle. On a pu voir l'influence que nous avons reconnue avec M. Chevreul à la chaleur comme moyen d'ajouter à l'affinité de la couleur et de la fibre Il y a plus d'énergie dans la combinaison, plus de résistance aux agents extérieurs, la couleur cuite est plus solide.

Les premiers essais faits pour rendre adhérentes les matières colorantes sur les tissus datent des temps modernes; en Angleterre on n'y fit d'abord pas trop d'attention; cependant on obtint des colorations fixées à la vapeur, sur laine et sur soie, vers 1819, dans les environs de Paris, à Beauvais, à Logelbach. Aujourd'hui le fixage à la vapeur est à peu près général sur soie, laine, fil et coton.

Quelle est la théorie de cette opération? On dépose sur l'étoffe tantôt un corps soluble qui, comme l'acide prussianoferrique, se décompose sous l'influence de la chaleur en formant du bleu de Prusse, lequel se combine à la fibre, tantôt une laque, composé salin qu'on fait dissoudre dans un acide capable de contre-balancer l'énergie de la matière colorante, et qui s'empare momentanément de la base pour la lui restituer sous l'influence de la vapeur, soit que cet acide doive disparaître par le fait de la chaleur, soit qu'il perde dans certaines circonstances son affinité primitive; tantôt enfin on dépose une matière colorante en mélange avec un sel dont elle peut déplacer l'acide qui, disparaissant comme dans les cas que nous venons d'exposer, la laisse libre de contracter combinaison simultanément avec la base et l'étoffe.

On le voit, ce sont là des conditions qui nous ont paru de toute nécessité pour la teinture ordinaire: principes solubles présentés à l'étoffe, précipitation de la matière en contact avec l'étoffe, affinité développée par une élévation de température; de plus coction du principe binaire ou ternaire après sa formation; coction à laquelle M. Chevreul attribue la résistance aux agents atmosphériques. Il est évident qu'ici, comme dans la teinture ordinaire, nous constaterons l'influence des diverses fibres qui n'attireront pas avec la même énergie toutes les matières colorantes. Il en est quelques-unes qui nécessitent une sorte de préparation; mais généralement, dans ce cas, cette préparation n'est pas réclamée par les fibres, elle semble l'être beaucoup plus par la matière colorante qui, solide à l'état du mélange, demande à se trouver dissoute quand elle doit être fixée par la vapeur, et, dans la majeure partie des circonstances, l'agent qui doit fournir l'élément acide capable de dissoudre la matière colorante apporte en même temps l'auxiliaire nécessaire à l'adhérence de la substance colorante avec la fibre textile. Telle doit être au moins l'action des chlorures d'etain ou d'alumine qu'on ajoute aux couleurs vapeurs dans la plupart des cas.

L'acide oxalique, l'acide tartrique agissent dans le même sens : ils dissolvent la laque, la maintiennent soluble tout le temps de l'impression et n'abandonnent les oxydes qui se combinent avec la matière colorante et la fibre que sous l'influence de la vapeur d'eau suffisamment chaude. L'acide acétique offre sur les matières qui précèdent l'avantage de se dissiper complétement par la chaleur. Quelques composés agissent ensuite comme oxydants en remplaçant l'air qui n'intervient qu'avec lenteur dans la teinture ordinaire. Nous citerons enfin l'influence de la chaleur capable seule de déterminer certaines réactions; à cette classe appartiennent quelques colorations purement inorganiques; nous mentionnerons, comme exemple parmi les plus récentes, la fixation dans les impressions sur coton des sulfures métalliques résultant de la décomposition des hyposulfites correspondants.

En ajoutant de l'hyposulfite de soude à certains sels métalliques, tels que ceux d'antimoine, d'arsenic, de bismuth, il y a bientôt réaction entre les éléments mis en présence, de manière à donner naissance à des sulfures insolubles dont plusieurs possèdent des nuances assez pures et assez vives. Malheureusement, cette transformation est déjà sensible à froid, et au bout de fort peu de temps le mélange ne saurait être utilisé pour la toile peinte, puisque, pour que le sulfure métallique soit bien fixé, il est indispensable qu'il se forme sur l'étoffe même. M. Sace a tiré parti de cette réaction pour utiliser d'autres sulfures. En effet, d'autres sels, tels que ceux de cadmium, de nickel, de cuivre, de plomb et de mercure (à l'état de sublimé corrosif), ne se décomposent pas immédiatement en présence de l'hyposulfite de soude; la réaction qui donne naissance aux sulfures de ces métaux n'a lieu qu'à une température élevée ou à froid, mais alors seulement après un intervalle de temps très-prolongé. Il résulte de ce fait la formation de quelques couleurs vapeurs, toutes inaltérables à la lumière et dont plusieurs sont très-solides. Comme ces réactions sont nouvelles, nous présentons ici les dosages employés dans l'usine de Wesserling. L'épaississant est l'eau de gomme préparée par parties égales d'eau et de gomme; la solution d'hyposulfite de soude renferme 200 gr. de sel solide par litre d'eau.

Jaune de cadmium. — On dissout 40 gram. de chlorure de cadmium cristallisé dans 250 gr. de solution de gomme contenant un kilog. par litre; on ajoute un quart de litre d'hyposulfite de soude liquide contenant 200 gr. d'hyposulfite par litre; on imprime, on vaporise et on lave. On obtient de la sorte un jaune très-beau qui supporte bien le bain de garance.

Vert de cuivre. — 25 gr. du sulfate de cuivre sont dissous à chaud dans 250 gr. de solution de gomme, puis on ajoute 250 gr. d'hyposulfite de soude liquide.

Ce vert est très-beau et peut, sans éprouver de changement, subir le bain de garance. Il est aussi très-homogène : sur un fond blanc, il vaut mieux l'épaissir avec le léiocome qu'avec la gomme; mais il a l'inconvénient qu'imprimé par un temps chaud, il sèche très-promptement.

Gris de nickel. — 25 gram. de chlorure de nickel, 250 gram. de solution gommeuse et 250 gram. de solution d'hyposulfite de soude.

Gris de plomb. — 25 gram. de nitrate ou 50 gram. d'acétate basique de plomb, 250 gram. de solution gommeuse, 250 gr. de solution d'hyposulfite de soude.

Gris de mercure. — 40 gram. de sublimé corrosif, 250 litres d'hyposulfite sodique.

Impressions plastiques. — Il ne faut pas confondre avec les méthodes qui précèdent celle qui conduit à l'application sur un tissu donné des matières colorées fixées au moyen de l'albumine ou du blanc d'œuf.

Il n'y a pas de réaction chimique, de teinture proprement dite dans ce genre qui prend actuellement une très-grande extension; le principe colorant est fixé parce qu'il est enveloppé de toutes parts par une eau chargée d'albumine, qu'on porte ensuite à la température convenable pour la coaguler. On a tiré parti de cette façon d'une foule de matières inertes colorées;

nous citerons le vert émeraude, le gris de fumée, les phosphates de cobalt, le bleu dit outremer artificiel, et une série d'oxydes de toute nuance et de toute valeur; on imprime à la planche et au rouleau en une infinité de couleurs soit à un, soit à plusieurs tons, on sur fond blanc ou sur fonds obtenus par voie de teinture, cependant généralement sur blanc.

On se ferait toutefois une idée fort inexacte de ce genre de travail si l'on admettait que toute matière colorée, quelle qu'elle soit, peut être employée; il faut d'abord une ténuité excessive qui permette à la poussière de pénétrer dans les tailles de la gravure; il faut ensuite que la matière abandonne facilement le rouleau pour s'attacher aux fibres du tissu; or, bien peu de matières vitrifiées satisfont à cette double condition.

Pour donner une idée de l'importance de ce genre, il nous suffira de rappeler ici que la consommation de l'albumine faite par les fabriques d'Alsace seules est d'environ 125,000 kilog. par an, ce qui représente 37,500,000 œufs, c'est-à dire le produit de 250,000 poules.

Ces relevés font comprendre l'intérêt qui s'attache à la conservation de l'albumine des œufs et aux recherches qu'on a faites jusqu'à ce jour pour remplacer cette matière par des substances équivalentes, toutes les fois que cette substitution s'est trouvée possible.

On dessèche le blanc d'œuf pour assurer sa conservation. A cet effet, on casse l'œuf et on sépare le blanc du jaune. En hiver et au printemps, quand les œufs sont frais et la température peu élevée, on laisse reposer le blanc de deux à six jours, on le bat avec une spatule et on le passe à travers un linge pour retenir les germes et les impuretés. La dessiccation se fait en étendant le liquide dans des vases en zinc très-plats posés sur des claies qu'on maintient à la température constante de 30 degrés. Pour faciliter la séparation de l'albumine sèche des plaques sur lesquelles elle s'est séchée, on essuie ces dernières avec un linge légèrement graissé; on charge chaque plaque d'un demi-litre on 1 litre de blanc; la dessiccation se fait en deux ou trois jours; vingt-quatre douzaines d'œufs donnent six litres de blanc, 4 litres de jaune. On retire par la dessiccation 1 kilog. d'albumine sèche.

L'opération réussit le mieux en mars, avril et mai. Pendant l'été, les œufs sont plus chers et le rendement moins considérable.

On a proposé différentes matières pour remplacer l'albumine de l'œuf: nous citerons le *sérum* du sang et le *frai*, c'est-à-dire les œufs que les femelles des poissons déposent à certaines époques de l'année en quantité très-considérable.

L'albumine du sérum s'obtient très-facilement, d'après M. Leucht, en décantant le liquide qui surnage les caillots du sang, après qu'on l'a laissé déposer dix à quinze heures. On sépare par un nouveau repos de six à dix heures, dans des vases plats, un deuxième dépôt. On soutire et on dessèche à 40 degrés.

La partie du sérum qui resterait colorée est mise au repos et traitée par la colle de poisson, qui sépare les impuretés par une véritable coagulation. On remue le mélange et on laisse clarifier dans des vases de forme haute

L'albumine tirée du frai peut s'extraire du frai séché, tel qu'on le trouve actuellement dans le commerce, du frai extrait du poisson au moment de la pêche, et du frai des poissons salés.

Quand on traite le frai séché il faut le moudre grossièrement, l'arroser d'eau et décanter la dissolution obtenue pour séparer un dépôt; on dessèche au-dessous de 40 degrés.

Le frai de poisson frais donne de l'albumine à meilleur marché que les frais desséchés ou salés. Après l'avoir purifié et débarrassé du sang qu'il contient, au moyen d'un lavage à l'eau, on l'écrase pour laisser déposer le liquide obtenu; on décante et on sèche à l'étuve jusqu'à 40 degrés.

Si l'on opère sur du frai salé, on lave avec de l'eau pour enlever l'excédant de sel; on écrase ensuite pour faire sécher, ainsi qu'il vient d'être dit.

D'après M. Dollfus, l'albumine du frai s'obtient avec facilité et en grande quantité, mais le liquide obtenu par la compression des œufs est souillé d'une matière grasse, qui représente quelquefois jusqu'à la moitié du poids total du liquide. — Les résultats sont plus favorables quand on opère sur du frai récolté peu de temps après la pêche; ils sont désavantageux, au contraire, quand on fait usage de frai de poissons salés. Le produit contient alors, outre la matière grasse, de l'albumine insoluble, et de plus il est coloré.

La matière grasse est un obstacle à l'emploi de l'albumine du frai, car elle enlève une grande partie de l'adhérence que les couleurs doivent acquérir. Cet inconvénient est tel que M. Dollfus n'oserait proposer actuellement aux imprimeurs la substitution de cette matière à l'albumine des œufs. Toutefois, il conserve l'espoir qu'en opérant sur du frai de poisson dissous au moment même de la pêche, on pourra, si l'on parvient à séparer la matière grasse, rendre un grand service à l'industrie des toiles teintes et imprimées.

Ces détails nouveaux publiés par la Société de Mulhouse sont trop récents pour avoir été présentés en leur place. Nous terminons, en les mentionnant ici, ce que nous avons à dire des rapports de la teinture avec l'impression.

§ XV. DES OPÉRATIONS *qui suivent et terminent la teinture.*

Lorsque les tissus ont reçu la teinture, soit en uni, soit avec dessins imprimés par les diverses méthodes auxquelles l'indienneur a recours, on ne les met dans le commerce qu'après les avoir séchés et apprêtés, quelquefois même calendrés. Nous n'aurons pas plus à décrire ici les opérations de l'apprêt ou du calandrage que celles relatives à la vaporisation. Les dernières sont décrites à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES. Quant aux premières, nous leur avons consacré des articles spéciaux dans ce même Dictionnaire. A propos du BLANCHIMENT, le lecteur a pu retrouver les méthodes employées pour l'apprêt, la dessiccation et le calandrage. Les appareils dont on se sert pour sécher les tissus sont d'ailleurs décrits d'une manière toute particulière à l'article ESSORER, et le mot CALANDRE complète les descriptions déjà données dans les articles déjà cités.

Nous devons nous borner à rappeler ici, sous forme succincte, l'utilité de ces diverses opérations.

Les APPRÊTS qu'on fait subir aux tissus blancs, imprimés ou teints, ont pour but d'ajouter du corps à la fibre, de rehausser l'éclat des couleurs, d'enlever les plis et de lustrer les surfaces. On distingue, suivant le cas, des apprêts chimiques et des apprêts mécaniques.

Apprêts chimiques. — On emploie pour l'apprêt des toiles et des cotons l'amidon et la fécule, l'alun et le savon, la cire pour le satinage; pour les soies, on fait usage de gomme et de dextrine; pour les laines, l'alun donne un avivage brillant.

Ces matières sont appliquées par le foulardage ou par le bain de cuve. On sèche d'abord par expression, puis par dessiccation.

Pour exprimer l'excès de liquide enlevé par les étoffes, on tord à la cheville, on comprime entre des cylindres les tissus mis en boyau on tendus en large, ou bien encore on se sert des hydro-extracteurs à grande vitesse et force centrifuge.

La dessiccation se fait dans des séchoirs à l'air libre,

dans les chambres chaudes, ou par des cylindres dans lesquels circule de l'eau chaude ou de la vapeur.

Apprêts mécaniques. — Le calandrage représente exactement l'opération du repassage d'une étoffe plus ou moins empesée sur une grande échelle.

Le brillanté de certains tissus est obtenu par un lissage qui résulte de la compression que l'étoffe reçoit en passant entre deux cylindres, l'un en cuivre, l'autre en carton. Pour les autres on fait usage des machines à lisser. Lorsque les tissus sont de laine, on les comprime au moyen de presses en les séparant par des plaques chauffées par une circulation de vapeur.

§ XVI. ANALYSE DES COULEURS
appliquées par teinture et impression.

Nous terminerons cet article par l'exposé des méthodes auxquelles il faut avoir recours pour reconnaître soit à titre de contrôle, soit à titre de renseignement de toute autre nature, l'origine d'une teinture, lorsqu'elle est déposée sur une étoffe donnée. Cette étude est intéressante, elle est essentiellement chimique et de plus elle est utile à tout industriel qui désire non-seulement surveiller sa propre fabrication, mais aussi chercher à réaliser promptement les améliorations ou progrès que ses concurrents peuvent produire.

Ici, comme dans toute recherche analytique, on doit faire usage d'un petit nombre de réactifs qui par des propriétés caractéristiques soient des témoins fidèles. Il faut ensuite et préalablement établir des séries, afin de procéder par élimination, méthode infaillible et prompte.

En résumant les notions de teinture que nous avons présentées plus haut, nous pouvons établir de suite que la matière colorante fixée sur le tissu peut être :

Entièrement organique — couleur se fixant par elle-même;

Entièrement métallique — couleur purement minérale;

Couleur formée par mélange de principes organiques et de principes inorganiques — couleur ne se fixant que par le concours d'un intermédiaire.

Or l'action de la chaleur nous permet de classer de suite une teinture donnée ; en effet :

1° Lorsqu'on incinère une étoffe recouverte d'une couleur complétement organique, les cendres que laisse l'échantillon ne sont formées que des cendres que le tissu lui-même laisserait dans les mêmes circonstances. Et, comme contrôle, vu que le chlore et l'acide hypochloreux détruisent toute couleur animale ou végétale, l'étoffe doit se décolorer sous l'influence de ces agents soit en devenant blanche, soit en présentant la couleur que la fibre prendrait sous l'influence de ces réactifs.

2° Lorsqu'on incinère une étoffe chargée d'une couleur purement minérale, on retrouve dans les cendres du tissu la matière colorante ou intacte, ou modifiée suivant sa nature; il faut alors soumettre ces cendres à l'analyse ordinaire considérée dans sa plus grande généralité. Lorsqu'on a reconnu les éléments utiles dans la coloration primitive, l'action du chlore doit venir la confirmer ; car la coloration résiste généralement à cet agent, et, dans le cas contraire, les modifications doivent être conformes à celles que présenteraient les éléments dont on soupçonne la présence comme cause de la coloration.

3° Lorsqu'on incinère un tissu coloré par une matière organique en combinaison avec un oxyde métallique, on trouve que la matière colorée s'altère; on recherche dans les cendres la matière métallique qui a servi d'intermédiaire ; on le trouve par les procédés que le chimiste connaît : l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome, l'oxyde d'étain se retrouvent facilement. Quant au tissu coloré, le chlore enlève ou modifie la nuance, et le tissu peut être, après lavage, essayé vis-à-vis de la garance, de la cochenille, du quercitron ou du campêche ; la coloration nouvelle que l'étoffe prend à la teinture permet de contrôler les résultats obtenus.

Nous allons actuellement faire connaître les résultats offerts par chaque matière colorante. Nous prendrons les nuances simples, parce qu'il est toujours possible de ramener à ces composés les nuances binaires et ternaires que la consommation peut avoir à juger.

Rouges.

1er GROUPE. La fuchsine et le carthame seuls se fixent sans auxiliaire.

2e GROUPE. Le rouge de chrome et les iodures de mercure, les sulfures d'antimoine et d'arsenic sont les couleurs minérales qui peuvent être employées. Les chimistes savent les différencier.

3e GROUPE. La garance, le bois rouge, la cochenille, la murexide doivent être classés parmi les rouges fixés par des intermédiaires.

Le rouge tiré de la fuchsine se décolore par les alcalis, il reparaît par l'addition d'acétate d'ammoniaque : il ne laisse pas de résidu par l'incinération.

Le *rouge de carthame* disparaît par le chlore ; il ne laisse pas de résidu par l'incinération; il est décoloré par les alcalis carbonatés ou caustiques. Le jus de citron dépose des flocons roses si le liquide est chargé de matière colorante.

Les *rouges de garance* et ceux formés par les dérivés de la garance passent au jaune ou au jaune orangé quand on les mouille par l'acide chlorhydrique. Si on les traite après cette modification par un lait de chaux, on voit apparaître une nuance violette brillante qui repasse au rose par un lavage avec l'eau de savon. Quant aux cendres laissées par les rouges de garance, elles sont alumineuses ou tout à la fois chargées d'alumine et d'étain.

Les *rouges au bois* virent à la teinte groseille par l'acide chlorhydrique et le chlorure d'étain ; quand on passe en chaux, il ne se forme qu'un violet peu stable qui disparaît au savon, sans reproduire la nuance rouge primitive.

Les *rouges de cochenille* diffèrent de ceux qui précèdent, parce que l'acide sulfurique qui fait passer les premiers au jaune orangé donne une coloration rouge vif aux teintures dues à la cochenille.

Les *rouges à la murexide* se reconnaissent facilement à la présence d'un sel de mercure par lequel ils sont fixés ; la calcination qui dissipe à la fois toute la matière colorante et le sel de mercure rapproche la teinture en murexide de la couleur obtenue du carthame ; les caractères distinctifs de cette dernière et la présence du mercure dans la première ne permettent pas la moindre confusion.

Bleus.

Il n'y a que l'indigo, les bleus de campêche et le bleu de Prusse qui doivent nous occuper ici ; les bleus minéraux qu'on pourrait rencontrer comme le bleu outremer (silicate alumineux mêlé de sulfure de sodium), les bleus de cobalt (silicate de cobalt, aluminate de cobalt, phosphate de cobalt et d'alumine, *bleu Thénard*), triple silicate de cobalt, d'alumine de zinc et d'alcali (*bleu persan*), ne peuvent être appliqués que comme impression plastique ou teinture mécanique, et d'ailleurs ils se retrouveraient dans les cendres à peu près sans altération, sauf toutefois l'outremer qui pourrait être complétement décoloré.

1er GROUPE. L'indigo posé comme indigo de cuve forme le premier groupe, et se fixe sans intermédiaires.

2e GROUPE. Le bleu de Prusse peut faire partie de la seconde classe, car les éléments qu'il perd ne doivent

pas plus être considérés comme couleur que l'eau dans l'hydrate de fer qui constitue la couleur rouille.

3e GROUPE. Le bleu faux formé par le bois de Campêche et l'oxyde de cuivre fournit la seule matière bleue qu'on puisse chercher dans le troisième groupe.

Le *bleu d'indigo* est le bleu solide par excellence; il résiste à l'action de l'acide sulfurique concentré ; l'ébullition avec la potasse caustique ne le modifie pas. Sa cendre ne contient ni fer ni cuivre. Le bleu d'indigo peut avoir été fixé sous forme de bleu de Saxe, carmin d'indigo, sulfo-indigotate, etc.; on le découvre par la dissolution de potasse qui fait disparaître la coloration ; un acide la fait reparaître.

Le *bleu de Prusse* est détruit par la chaleur ; il donne à l'incinération sur une lame de platine un résidu d'oxyde de fer quelquefois pur, quelquefois additionné d'oxyde d'étain. La potasse le décolore en lui faisant prendre une couleur de rouille; il se décolore avec l'acide sulfurique concentré ; par l'immersion dans l'eau la coloration reparaît, mais affaiblie. Un caractère propre aux couleurs provenant du bleu de Prusse résulte de l'action de la lumière sur cette couleur. L'exposition à la lumière solaire décolore le tissu; l'obscurité ramène au bleu les parties décolorées.

Le *bleu au campêche* est tellement impressionnable aux acides qu'il passe au rouge aussitôt qu'il a leur contact; il est décoloré par la chaleur et laisse une cendre qui renferme du cuivre. En effet, cette cendre bouillie dans l'acide nitrique donne une liqueur qui, neutralisée par l'ammoniaque, fournit un précipité pourpré par le prussiate jaune de potasse, et par l'ammoniaque en excès un liquide d'un bleu céleste. On ne doit pas oublier qu'il ne faut chercher le cuivre que dans les cendres, car il forme avec les matières colorantes des combinaisons dans lesquelles ses propriétés sont masquées.

Nous avons dit que les bleus foncés recevaient souvent un premier pied de bleu de cuve. Une pareille étoffe qui est finie par des bains de campêche ou de bleu de Prusse perdra toujours une partie de sa nuance par les alcalis et les acides ; on retrouvera le bleu solide après le traitement, la nuance aura seulement beaucoup diminué. Si le bleu de cuve est recouvert de bleu de Prusse, la cendre sera ferrugineuse ; elle sera chargée de cuivre, si l'on a rechargé de bleu par l'oxyde de cuivre et le campêche.

Jaunes.

Nous avons vu qu'on pouvait trouver, dans l'état actuel de l'industrie, les jaunes de gaude, de quercitron, de graine, de fustet, de curcuma, d'acide picrique, de substances astringentes, de rocou, les jaunes de chrome, l'orpiment, le sulfure de cadmium, le nankin ou le chamois.

1er GROUPE. Le jaune obtenu de l'acide picrique constitue le type d'un jaune présentant une telle affinité pour la fibre que rien ne peut l'enlever complétement.

2e GROUPE. Dans ce groupe se classent les couleurs minérales, comme les jaunes de chrome, d'arsenic, de zinc, de cadmium, que leur caractère chimique permettra toujours de retrouver dans les cendres. Les oxydes de fer et de manganèse qui donnent à l'état d'hydrate, d'arséniate ou de phosphate des couleurs variées, se classent immédiatement à côté de ces couleurs jaunes minérales.

3e GROUPE. Les autres jaunes qui nécessitent pour se fixer l'intervention des sels métalliques se rangent dans le troisième groupe.

Le *jaune à l'acide picrique* ne se décolore pas par les acides; il faiblit un peu dans les dissolutions alcalines, il ne laisse aucun résidu par l'incinération.

Le *jaune de gaude* est détruit par l'acide hypochloreux ; l'acide sulfurique concentré le fait virer légèrement au jaune verdâtre. La potasse ne l'attaque pas ; elle peut le ramener au jaune d'or.

Les *jaunes au quercitron* sont détruits par le chlore et par l'acide hypochloreux, mais ils ne virent sensiblement à l'orangé, ni par les acides, ni par les alcalis, ni par les sels d'étain ; l'acide nitrique leur fait prendre une teinte rougeâtre.

Le *jaune de graine* est détruit par le chlore et l'acide hypochloreux ; la potasse le fait virer au jaune turc ; le chlorure d'étain les fait passer à l'orangé.

Les *jaunes de fustet* virent au rouge par l'acide sulfurique ; l'acide nitrique les détruit.

Les *jaunes de curcuma* sont décolorés par le chlore ; ils virent à l'orangé par les alcalis.

Les *jaunes au rocou*, difficilement attaqués par le chlore, sont enlevés par l'acide nitrique; mais l'acide sulfurique les attaque difficilement; ils prennent d'abord une nuance bleu verdâtre, puis passent au brun foncé.

Orangés.

Les orangés résultent généralement du mélange ou de la superposition des jaunes et des rouges ; quelquefois ils sont directement fournis par des matières orangées, dont la plupart appartiennent aux substances minérales.

Verts.

On peut distinguer parmi les matières colorantes vertes les verts à base d'indigo, les verts à base de bleu de Prusse, les verts obtenus par les jaunes et le campêche, les verts de Chine, les verts métalliques.

Les *verts à base d'indigo* présentent, comme caractère commun, d'être détruits par la chaleur sans laisser d'autre résidu que celui que donnerait le jaune seul ; ils sont décolorés par le chlore et par l'acide hypochloreux en laissant du jaune s'il résiste à ces agents, ou seulement un des éléments du jaune, l'oxyde métallique, s'il est détruit comme l'est le principe bleu.

Les *verts à base de bleu de Prusse* sont inaltérables par le chlore gazeux, par l'acide nitrique et par l'acide hypochloreux quand ils ont pour base jaune le chromate de plomb; la potasse caustique l'attaque en faisant disparaître à la fois le jaune et le bleu. Lorsque le principe jaune est une couleur végétale, le vert s'altère par le chlore et par l'acide hypochloreux qui le font passer au bleu ; et la potasse, au contraire, n'altérant pas le jaune, mais faisant disparaître le bleu, laissera voir une coloration jaunâtre avec une nuance olivâtre.

Les *verts au campêche* rougissent fortement par l'acide qui détruit l'hématine; ils noircissent quand on les couvre d'une couche de chromate de potasse.

Les *verts de Chine* présentent des caractères spéciaux qui s'opposent à ce qu'on puisse les confondre avec l'indigo. Une étoffe immergée dans la potasse en présence des sels réducteurs se décolore en donnant un liquide qui colore le calicot en vert d'abord, en bleu ensuite, quand on le fait déverdir au contact de l'air. Un mélange formé de quatre volumes d'acide sulfurique et d'une partie d'alcool qui dissout l'indigo fixé sur tissu ne décolore pas le tissu teint par le vert de Chine.

Un tissu teint par le vert de Chine immergé dans le sulfhydrate d'ammoniaque passe au pourpre ; par le rinçage et l'exposition à l'air il reprend ses couleurs primitives.

Le chlorure d'étain fait virer la nuance à l'orangé ; mais ce caractère est commun à d'autres verts composés, ceux, par exemple, qu'on formerait avec le tournesol et ses congénères et un jaune végétal.

Les verts métalliques sont formés ou de verts ou de jaunes métalliques et de bleus ; on trouve dans l'examen des cendres la solution du problème. Il est possible de former des verts de toutes pièces, comme les arsénites de cuivre et l'oxyde de chrome. On sait que ce dernier est appliqué maintenant sur une grande échelle à l'état d'oxyde de chrome hydraté (voyez ÉMERAUDE, vert ÉMERAUDE, p. 235).

Violets.

Les violets sont obtenus ou par des mélanges ou par des superpositions. Quelques composés, comme l'orseille, la garance et l'aniline, donnent directement des nuances violettes ; d'autres exigent des superpositions.

Les *violets garancés* laissent comme résidu des cendres chargées d'oxyde de fer ; elles sont décolorées par l'acide hypochloreux ou par le chlore ; l'oxyde de fer reste sur l'étoffe qui, lavée, peut prendre dans des décoctions de matières tinctoriales les couleurs que chacune d'elles prend en contact avec les sels de fer. L'acide chlorhydrique faible les fait virer au jaune orangé sale d'une intensité variable avec celle du violet primitif. Un lait de chaux sous l'influence de l'acide détermine une couleur violette brillante et persistante en présence même d'un bain de savon bouillant.

Les *violets au campêche* laissent, après incinération, une cendre blanche formée d'oxyde d'aluminium ; ils sont détruits par l'acide hypochloreux ; l'acide chlorhydrique les fait virer au rouge ; un lait de chaux, suivi d'un passage en eau de savon, leur donne une teinte grisâtre qui finit par disparaître.

Les *violets à la cochenille* se distinguent de ceux au campêche, d'abord par leur nuance, puis par les réactions offertes par les cendres dont la composition est déterminée.

Les *violets d'orseille* se reconnaissent à leurs caractères propres ; fugaces, ils s'altèrent au contact des acides, ne laissent pas de résidu lorsqu'on les incinère ; ils reprennent au contact de l'ammoniaque leur couleur primitive, si l'acide qui les a fait virer n'est pas trop concentré. Lorsque la couleur d'orseille est obtenue par la pourpre française, elle résiste aux acides à 4 degrés ; on peut trouver après incinération un résidu d'étain ou de magnésie, base de la laque qu'on a déposée sur le tissu, si l'on a des impressions à déterminer (p. 592).

Les *violets d'aniline* se reconnaissent à leur grande vivacité ; toute nuance violette paraîtra noire à côté de la teinture en indisine. Leurs caractères ont été donnés au sujet de l'aniline ; nous nous bornerons à renvoyer le lecteur aux caractères spécifiques que nous avons présentés en parlant de l'aniléine elle-même.

SALVÉTAT.

THERMOMÈTRE. Le thermomètre est l'instrument qui a pu permettre d'arriver à la découverte de toutes les lois qui règlent les phénomènes calorifiques, c'est-à-dire à la série la plus importante des découvertes des temps modernes en introduisant, dans leur étude, la possibilité de *mesurer* et par suite d'établir des lois. Il doit être défini l'instrument qui sert à la mesure des températures ; on ne peut donc, comme on le fait trop souvent, définir la température par le nombre de degrés du thermomètre, ce qui est un cercle vicieux ; la mesure d'un phénomène n'en est pas la définition.

L'idée de température qui est implicitement contenue dans la première notion que notre esprit se forme quand nous percevons les phénomènes de la chaleur, est une idée première qui ne peut pas plus se définir que le temps en mécanique, mais nous pouvons définir l'égalité de température comme l'égalité de temps, ce qui doit nous conduire, dans un cas comme dans l'autre, à constituer l'unité, à obtenir la mesure.

Les premiers phénomènes que l'expérience nous montre comme intimement liés aux températures, sont la variation du volume des corps et l'échauffement d'un corps froid en contact avec un corps chaud. On doit donc établir :

1° Qu'un corps placé dans des conditions identiques de tout point, par rapport à sa distance d'un corps échauffé, à la pression, s'il s'agit d'un gaz, etc., a une même température.

2° Que la température des deux corps est la même, si, étant rapprochés l'une de l'autre, ils n'éprouvent aucun changement.

3° Que s'ils éprouvent des changements, l'un se refroidissant pendant que l'autre s'échauffe, ils arrivent à l'égalité de température.

Ces premières déductions parfaitement certaines des effets les plus généraux et les mieux constatés de la chaleur permettant d'établir un instrument servant à constater les *différences* de température des deux corps, pourra-t-il fournir leur *rapport*, leur *mesure?* En effet, le corps type, que l'on comparera à un autre corps, ayant un certain volume lorsqu'il est en contact avec lui, en raison de sa température, en indiquera une plus élevée lorsqu'il prendra un plus grand volume au contact d'un autre corps. On ne pourra conclure de la variation de volume du corps étalon qu'une différence, mais non un rapport, à moins d'avoir constaté la proportionnalité des variations de volume et des variations de température.

Admettons cette condition remplie, elle ne permettra pas seule de passer à l'étude des phénomènes calorifiques ; il faudra, comme dans la mécanique où la mesure des vitesses est tout à fait insuffisante et doit, pour arriver à la constitution de la science, être complétée par celle du travail, des forces vives, dépasser la notion de température, employer celle-ci à déterminer la quantité de chaleur contenue dans un corps à une température donnée, à l'aide de sa *chaleur spécifique*. C'est à l'aide de celle-ci que l'on obtient l'unité complète, dont la constitution était indispensable pour constituer la théorie de la chaleur sur des bases inébranlables.

L'établissement d'un thermomètre convenable nécessite la constitution d'une échelle de variation de volume, de degrés proportionnels aux échauffements et aux quantités de chaleur du corps type. Supposons, pour le moment, cette condition remplie pour les liquides par des degrés égaux représentant l'excédant de leur dilatation sur celle de l'enveloppe de verre qui les renferme, et décrivons la construction de cet appareil le plus simple et presque le seul qu'il soit nécessaire d'employer dans les applications.

Thermomètre à mercure. — Inventé, suivant les uns, par Galilée, selon d'autres par Drebbel, médecin hollandais, perfectionné par les académiciens de Florence et surtout par Newton qui l'améliora en montrant la nécessité d'introduire dans son échelle de graduation des points fixes, on voit que le thermomètre est né du concours des fondateurs de la physique moderne qui comprenaient la nécessité d'introduire un moyen de comparaison, de mesure, au milieu des phénomènes calorifiques, pour arriver à la découverte de leurs lois. Il consista d'abord en un simple tube cylindrique renfermant de l'esprit-de-vin ou du mercure. Mais cette forme n'étant pas susceptible de donner une grande sensibilité à l'instrument, on souda bientôt à l'extrémité du tube un réservoir dont les dimensions soient considérables relativement au diamètre du tube, ce qui rend les variations du liquide beaucoup plus sensibles. Telle est la forme adoptée.

1. *Construction d'un thermomètre à liquide.* — La construction du thermomètre se réduit à un petit nombre d'opérations. Il faut préparer le tube, intro-

duire le liquide, régler la course de l'intrument, le fermer et le graduer.

Les tubes de thermomètres doivent avoir un diamètre intérieur très-petit, et qui soit partout le même, afin que des longueurs égales correspondent à des volumes égaux. Pour vérifier si cette dernière condition est remplie, on fait passer dans l'intérieur du tube que l'on veut employer une petite colonne de mercure de 1 ou 2 centimètres de longueur; ensuite, par une inclinaison convenable, ou par une légère pression que l'on peut exercer à l'aide d'une poire de gomme élastique, on fait marcher cette colonne dans le tube jusqu'à ce qu'elle en ait parcouru toute l'étendue : si, dans chaque position, elle occupe la même longueur, on est sûr que le tube est partout d'un égal diamètre. On soude alors à l'une des extrémités du tube (voir SOUFFLER LE VERRE) un réservoir cylindrique ou sphérique, et à l'autre un réservoir ouvert.

100
75
50
25
0

3735.

Pour introduire le liquide dans la capacité inférieure, on le met d'abord dans le réservoir supérieur, puis on chauffe le réservoir inférieur afin d'en dilater l'air qui sort en bulles à travers le liquide; par le refroidissement, l'air intérieur diminue d'élasticité, et la pression atmosphérique pousse le liquide dans le réservoir; dès qu'il y en a quelques gouttes, on les chauffe jusqu'à l'ébullition; l'air est complétement chassé par les vapeurs qui remplissent bientôt toute la capacité de la boule et du tube, et en laissant refroidir, on est presque assuré de les remplir tous deux entièrement. Si cela n'avait pas lieu, on recommencerait l'opération. Le liquide introduit, on le fait bouillir à la fois dans le réservoir inférieur, dans le tube et dans le réservoir supérieur, afin de le purger entièrement d'air.

Le thermomètre étant à une température suffisante pour remplir le tube, on en présente l'extrémité du tube au dard de la lampe d'émailleur, et on le ferme.

2. *Points fixes.* — Si l'on plonge un thermomètre construit comme on vient de le dire, et que nous supposerons fait avec du mercure, dans un vase plein de glace très-froide, placé dans une salle un peu chaude, on remarque qu'à mesure que la glace s'échauffe sans se fondre, l'instrument indique, par ses dilatations successives, ces accroissements de chaleur; mais dès que la glace commence à fondre, il devient stationnaire, et conserve son état tant que celle-ci n'est pas tout à fait fondue. Cependant l'air extérieur étant plus chaud que la glace et que l'eau résultant de la fusion, il est clair qu'il leur communique continuellement de la chaleur; et puisque le thermomètre ne l'indique point, c'est une preuve qu'elle ne lui parvient pas. Elle est donc employée tout entière à fondre la glace que l'eau contient; et sa disparition a lieu ainsi, jusqu'à ce que le mélange renfermé dans le vase soit entièrement liquide. Alors seulement la chaleur communiquée à l'eau se transmet au thermomètre.

Si l'on continue à chauffer, le thermomètre continue à monter jusqu'à ce que l'eau soit arrivée à l'ébullition. Quelque chaleur que l'on applique ensuite au vase, tant que toute l'eau n'est pas vaporisée, le thermomètre ne varie plus. Ici donc toute la chaleur introduite dans l'eau est employée à la vaporiser, de même que toute celle qu'on a introduite dans la glace fondante est employée à la fondre. Lorsque l'eau est convertie en vapeurs, si l'on bouche le vase qui la renferme et que l'on continue à le chauffer, le thermomètre indique des températures continuellement croissantes, et cela indéfiniment.

3. *Graduation du thermomètre centigrade.* — Ces deux températures, considérées dans l'eau, se nomment respectivement *température de la glace fondante* et *température de l'eau bouillante*; on les emploie à la graduation des thermomètres. A cet effet, on place l'instrument à graduer, successivement et en entier, dans de la glace fondante et dans de l'eau bouillante, et l'on marque sur le tube par un trait fin, fait à l'encre de Chine, ou plutôt avec la pointe d'un diamant, l'extrémité de la colonne mercurielle qui correspond à chacune de ces températures; on divise ensuite l'intervalle compris entre les points ainsi obtenus en 100 parties égales, et l'on a les *degrés*. On marque les degrés, soit sur le tube, soit sur une échelle particulière qui l'accompagne; on cote l'échelle en écrivant 0 au point qui correspond à la glace fondante et 100 à celui de l'eau bouillante; et l'on continue d'ailleurs à diviser et à numéroter, tant au-dessous de 0° qu'au-dessus de 100°, en profitant de l'étendue que présente le tube au delà de chacun de ces points.

Les températures de la glace fondante et de l'eau bouillante étant les bases de la graduation des thermomètres, il est très-important d'examiner si elles sont parfaitement constantes, ou si quelques causes accidentelles peuvent les faire varier.

Causes qui influent sur la température de la glace fondante. — D'abord, en commençant par la température de la glace fondante, il est nécessaire de remarquer qu'il ne faut pas la confondre avec celle de l'eau qui commence à se geler; l'eau, en effet, peut être refroidie jusqu'à 6° ou même jusqu'à 12° au-dessous de zéro sans cesser d'être liquide; par conséquent la température à laquelle elle se gèle ne peut pas être regardée comme fixe.

Il n'en est pas de même de la température à laquelle la glace et la neige se fondent : celle-ci est constamment la même, pourvu que l'eau qui a donné cette neige ou cette glace soit pure, car l'eau chargée de sels fond à des températures beaucoup plus basses.

Causes qui influent sur la température de l'eau bouillante. — Il y a beaucoup plus de variations dans le terme de l'ébullition de l'eau. D'abord il faut exclure l'eau chargée de sels; car elle bout à des températures qui varient avec la nature et la quantité des sels qu'elle contient[1]. Mais même en se servant d'eau pure, on n'obtient pas l'ébullition aux mêmes points du thermomètre, quand la hauteur de la colonne barométrique, c'est-à-dire la pression de l'air, n'est pas la même dans les divers essais : la température de l'ébullition augmente ou décroît avec la pression qui répond à la pression moyenne de l'atmosphère au niveau des mers. Lorsqu'on règle des thermomètres sous une pression différente de $0^m,76$, il est nécessaire de faire subir à la graduation une correction dépendante de cette différence de pression. On y parvient au moyen du résultat suivant, fondé sur l'observation que, dans le cas où la pression barométrique ne diffère pas beaucoup de $0^m,76$, une augmentation ou une diminution de $0^m,0254$ dans cette pression répond exactement à 1° de l'échelle centésimale dans la température de l'ébullition de l'eau; c'est-à-dire, par exemple, que si la pression, au lieu d'être $0^m,76$, est de $0^m,7316$, le terme de l'ébullition, au lieu d'être à 100°, répond à 99°; de manière que si l'on veut régler un thermomètre dans cette circonstance, et qu'on ait marqué le point d'ébullition, ainsi que celui de la glace fondante, il fau-

[1] M. Rudberg a reconnu que si les sels influent sur le point d'ébullition de l'eau, ils ne modifient aucunement la température de la vapeur; par suite, le point 100 est parfaitement exact en faisant plonger le thermomètre dans une étuve pleine de vapeur à la pression atmosphérique.

dre diviser l'intervalle correspondant en 99 parties, pour avoir des degrés centésimaux, ou pour que le thermomètre marque 100° dans l'eau bouillante, quand le baromètre sera à 0m,76. Le contraire arriverait si le baromètre était à 0m,7854 ; alors le terme de l'ébullition serait à 101 degrés ; il faudrait donc diviser en 101 parties l'intervalle compris entre ce point et celui de la glace fondante.

4. *Thermomètre de Réaumur.* — La division centésimale du thermomètre n'est pas la seule qui soit employée. Quelques physiciens se servent d'une division en 80 parties, due à Réaumur, et qui porte son nom ; mais puisque la graduation ne sert qu'à marquer des fractions de la dilatation totale, on conçoit que cette division, comme toute autre, ne saurait empêcher tous les thermomètres d'être comparables entre eux et avec les thermomètres centigrades.

Comme 80 degrés Réaumur valent 100 degrés centigrades, ce qui donne pour un degré Réaumur 10/8 du degré centigrade, il suffit, pour traduire un nombre de degrés de Réaumur en degrés centésimaux, de le multiplier par 10/8. Réciproquement, un nombre de degrés centésimaux étant donné, on le convertira en degrés Réaumur en le multipliant par le rapport 8/10.

5. *Thermomètre de Farenheit.* — On se sert en Angleterre d'une division imaginée par Farenheit, dans laquelle le terme de la glace fondante est marqué 32, et le terme de l'eau bouillante 212. L'intervalle de ces deux termes se trouve donc divisé en 180 parties égales. Ainsi, chaque degré Farenheit vaut 10/18 ou 5/9 du degré centésimal, et il vaut 8/18 ou 4/9 du degré de Réaumur. Ces données suffisent pour pouvoir comparer les températures exprimées suivant ces différents modes de division.

6. *Manière de calibrer les tubes des thermomètres.* — Nous avons supposé jusqu'ici les tubes des thermomètres parfaitement cylindriques ; mais il n'en est point qui soient tels dans la réalité ; il est même fort rare de trouver un tube qui soit cylindrique dans une étendue seulement de quelques centimètres. Il s'ensuit que tandis que dans un thermomètre dont le tube est supposé parfaitement cylindrique, les degrés, égaux en longueur, correspondent tous à des volumes égaux ; dans un tube irrégulier, au contraire, une division en parties égales ne peut plus correspondre à des volumes égaux. Mais l'on conçoit que cet inconvénient disparaîtra, si l'on peut opérer la division du tube en degrés d'égal volume ; or, voici comment on y parvient.

L'intérieur des tubes étant conique, par suite de leur fabrication même, on doit déterminer, en mesurant la place qu'occupe aux extrémités du tube une même colonne de mercure, la loi suivant laquelle on doit faire varier la longueur des divisions, ce que rend facile dans la pratique l'emploi moderne de machines à diviser dans lesquelles le traçoir est mû par une vis que fait tourner un système de roues, d'engrenages à denture très-fine.

7. *Altération que les thermomètres subissent avec le temps.* — La qualité du verre de l'enveloppe est encore une cause de variation très-importante, surtout si l'on a donné trop peu d'épaisseur à la boule du réservoir, en vue de rendre le thermomètre plus impressionable aux variations de température. L'élasticité, la résistance des réservoirs aux pressions croissantes ne reste plus la même et souvent n'est plus comparable pour deux instruments. C'est par le déplacement du zéro que ces phénomènes se manifestent.

On a observé, en effet, que le zéro des thermomètres à mercure surtout, qui sont ceux dont on fait un plus fréquent usage, s'élève avec le temps, comme si la boule devenait plus petite. Ce fait montre qu'il faut vérifier souvent la graduation de ces instruments.

8. *Thermomètre métastatique de M. Walferdin*, permettant de mesurer avec beaucoup d'exactitude de petites différences de température.

Il est souvent nécessaire de mesurer une température avec une très-grande exactitude, avec l'approximation d'un centième de degré, par exemple. Dans ce cas, l'usage du thermomètre ordinaire est très-incommode, si ce n'est impossible, les degrés devant être très-espacés. Il en résulterait pour l'instrument, surtout s'il devait contenir les deux points extrêmes 0 et 100, une longueur excessive. On peut bien remplacer l'échelle thermométrique par une série de plusieurs instruments ; mais pour peu que les degrés aient un centimètre d'écartement, le nombre des thermomètres serait assez considérable pour qu'une telle collection devînt très-coûteuse. M. Walferdin a proposé de mesurer, avec un seul instrument dont les degrés n'auraient pas moins de plusieurs centimètres, toutes les températures comprises entre la congélation et l'ébullition du mercure. Son thermomètre *métastatique* (fig. 3736) est un thermomètre à mercure ordinaire, dont la partie supérieure est terminée par une pointe effilée et ouverte qui pénètre dans un réservoir contenant du mercure.

Cette disposition permet de faire à volonté sortir du mercure de la tige ou de l'y faire rentrer, et, par suite, d'employer le même instrument pour toutes les températures.

La quantité de mercure, dont la dilatation est mesurée par le thermomètre métastatique, varie avec la température à laquelle on opère. La valeur de la division change donc à chacune de ces températures ; c'est pourquoi ces instruments ne peuvent être gradués immédiatement en degrés thermométriques. Ils portent une échelle arbitraire dont on détermine la valeur à chaque expérience.

Ce thermomètre servira pour déterminer une température maximum lorsque, plongé dans un milieu chaud, partie du liquide se déversera dans le réservoir. Il suffira pour la déterminer de le replacer dans un liquide dont la température sera mesurée par un thermomètre ordinaire, et de l'échauffer jusqu'au point où le déversement commençait dans le thermomètre métastatique.

3736.

THERMOMÈTRE A AIR. — L'emploi de la dilatation des gaz pour mesurer les températures offre cet avantage pratique que cette dilatation étant très-grande, l'influence de la variation de l'enveloppe est comparativement nulle. De plus, la grande distance qui sépare les températures à mesurer du point de liquéfaction des gaz permanents rend infiniment probable la proportionnalité de leurs degrés, l'égalité des quantités de chaleur qui correspondent à des accroissements de volumes égaux.

M. Regnault qui, après Dulong et Petit, a repris l'intéressante question du thermomètre à air par voie expérimentale, ayant reconnu que la meilleure disposition du thermomètre à air, pour un chauffage égal, était celle qui consistait à lui conserver un volume constant, et par suite à augmenter la pression dans le manomètre à mercure dans lequel aboutit le tube très-fin qui part du réservoir d'air, il s'est posé cette question : Des thermomètres à air, chargés avec de l'air à des densités très-différentes, sont-ils comparables entre eux, et des thermomètres à gaz, chargés avec des gaz de nature différente, marchent-ils d'accord entre eux, lorsqu'ils sont réglés entre les points fixes de 0 à 100 degrés ? Voici les conclusions auxquelles il arrive : 1° L'air atmosphérique suit la même loi de dilatation depuis 0 jusqu'à 350 degrés, lors même que sa force

élastique initiale à zéro varie depuis 0m,1 jusqu'à 1m,3.

2° L'air atmosphérique et le gaz hydrogène possèdent entre 0 et 350 degrés sensiblement la même loi de dilatation.

3° Les chaleurs spécifiques de ces gaz simples, pour une même dilatation, sont égales pour des volumes égaux.

On est donc fondé à admettre la proportionnalité des effets calorifiques avec le nombre des degrés mesurés avec le thermomètre à air et le considérer comme l'instrument essentiel pour des recherches très précises. Son emploi étant bien moins commode que celui du thermomètre à mercure, il semble que l'on pourrait ramener la graduation de ce dernier à correspondre avec celle du thermomètre à air, au moyen d'une correction convenable. Malheureusement, les différences de nature et de dilatation des verres de compositions diverses ne permettent pas de fixer cette correction d'une manière générale. C'est ce que prouve la table suivante établie par M. Regnault; elle ne commence qu'à 100 degrés parce que, jusqu'à ce point, les deux genres d'instruments s'accordent ou ne diffèrent que de quantités trop petites pour pouvoir être mesurées.

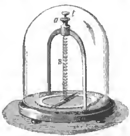
TEMPÉRATURES du thermomèt. à air.	TEMPÉRATURES DU THERMOMÈTRE A MERCURE		
	Cristal de Choisy-le-Roi.	Verre ordinaire.	Verre vert.
100°	100°	100°	100°
110	110,05	109,98	110,03
120	120,12	119,95	120,08
130	130,20	129,91	130,14
140	140,29	139,85	140,21
160	160,52	159,74	160,40
180	180,80	179,63	180,60
200	201,25	199,70	200,80
250	253,00	250,05	251,85
290	295,10	290,80	293,30
300	305,72	301,08	
350	360,50	354,00	

On voit que, si ce n'est lorsque l'on s'approche du point d'ébullition du mercure, les différences sont encore assez petites pour être négligeables dans la plupart des applications.

Au moyen de quelques points de fusion parfaitement certains et fixes, comme ceux fournis par la glace et la vapeur d'eau, par exemple, la fusion de l'étain, de la cire, l'ébullition de l'ammoniaque liquéfié, on pourrait établir une table de correction et faire de bonnes observations avec un thermomètre quelconque, gradué d'une manière arbitraire. Cette méthode d'observation analogue à plusieurs méthodes employées dans divers cas fournirait le moyen d'obtenir des nombres exacts avec des instruments médiocres, en se débarrassant de la difficulté d'exécuter et de conserver dans l'état initial des instruments parfaits.

Thermomètres a solides. — Les dilatations des solides étant minimes, et par suite les observations de leur allongement étant difficiles, ces corps ne sauraient être substitués dans la pratique pour constituer des thermomètres aux liquides dont l'effet se multiplie en raison du rapport de la capacité du réservoir et de l'échelle, et par suite il n'y a pas à s'occuper du plus ou du moins de régularité de leur dilatation aux diverses températures.

Un curieux système, d'une grande impressionnabilité, a été combiné par Breguet, sous le nom de thermomètre métallique. Il est fondé sur l'inégale dilatation des métaux à cet effet formé de trois lames superposées de platine, d'or et d'argent. Elles sont soudées ensemble avant d'être passées au laminoir pour ne former qu'un ruban métallique très-mince qui a une grande surface et peu de masse; on le contourne en hélice pour multiplier la déviation angulaire qu'il peut produire, et qui est indiquée par une aiguille légère suspendue à une extrémité, tandis que l'autre est fixée à un support, comme le montre la figure 3737. L'argent, qui est le



3737.

plus dilatable des métaux employés, forme la face intérieure de l'hélice; le platine, qui est le moins dilatable, est à l'extérieur, et l'or est entre les deux; sa dilatation moyenne entre les deux autres empêche les ruptures. Lorsque la température s'élève, l'argent se dilatant plus que le platine et l'or, l'hélice se déroule. L'effet inverse a lieu lorsque la température baisse. Les degrés de cet appareil ne sont pas comparables entre eux; il doit être gradué à l'aide d'observations simultanées d'un thermomètre à mercure.

TIROIRS ÉQUILIBRÉS. Comme s'il ne devait laisser rien d'incomplet dans sa machine à vapeur, dit M. Tresca dans un excellent rapport à la Société d'encouragement que nous reproduisons ici, Watt s'était tout d'abord rendu compte des inconvénients qu'entraînait la pression de la vapeur sur les tiroirs, et il n'a jamais construit que des tiroirs équilibrés. La vapeur se rendait d'abord dans un coffre qui régnait sur toute la longueur du cylindre; elle s'introduisait par les lumières, et à sa sortie du cylindre elle était d'abord recueillie dans les extrémités des bottes à tiroir, maintenues en communication constante entre elles et avec le condenseur.

Le conduit qui établissait la communication entre les deux extrémités se trouvait par conséquent plongé dans la vapeur d'admission, et rempli avec la vapeur d'échappement se rendant au condenseur. Les pressions déterminées dans tous les sens, pour chacune de ces deux vapeurs, se trouvaient respectivement équilibrées d'elles-mêmes, par cela seul que leur action s'exerçait dans tous les sens, à l'intérieur comme à l'extérieur, sur toute la surface latérale du conduit cylindrique. Les communications entre les trois chambres de la boîte à tiroir étaient interceptées au moyen de garnitures demi-cylindriques sur le côté opposé à l'admission, et du côté des orifices d'admission par les lèvres mêmes du tiroir.

Sans qu'il soit possible d'indiquer d'une manière certaine les motifs qui conduisirent plus tard les constructeurs à disposer leur échappement dans le milieu du cylindre et non plus vers les extrémités, on peut dire cependant que cette disposition a le mérite d'éviter un contact trop prolongé du conduit d'échappement avec le cylindre et, par conséquent, de diminuer les condensations résultant de ce contact.

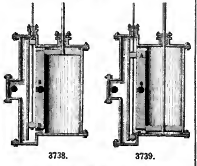
L'admission ayant lieu désormais par les extrémités

de la boîte à tiroir, on a trouvé plus commode, pour les machines à pression moyenne, de couvrir les orifices par une coquille qui, dans toutes les machines actuelles, constitue le tiroir proprement dit, et de faire arriver librement la vapeur dans la boîte au-dessus de cette coquille.

La boîte à vapeur de Watt se composait de trois chambres isolées par une garniture et disposées à la suite l'une de l'autre dans le sens de l'axe du cylindre et des mouvements du tiroir. La boîte à vapeur, généralement adoptée aujourd'hui, se compose de deux chambres dont la séparation n'est établie que par la surface frottante du tiroir.

Cette disposition très-simple, avantageuse sous le rapport du refroidissement qu'on évite à l'échappement, ne présentait aucun inconvénient sérieux, tant qu'elle s'appliquait à de petites machines fonctionnant à pression modérée, avec faible recouvrement des bandes du tiroir, et qui exigent par conséquent un faible déplacement de cet organe.

Tant que les machines puissantes étaient pour la plupart à basse pression, on s'est très-peu occupé, pour les autres, qui étaient généralement de puissance faible, de la dépense de travail que la pression exercée sur la coquille pouvait entraîner. Aussi les essais de tiroirs équilibrés furent-ils pendant longtemps peu nombreux, quoique l'on doive citer la distribution de la première machine de Taylor et Martineau, au moyen de pistons mobiles dans une boîte de tiroir cylindrique représentée fig. 3738 et 3739.



3738. 3739.

Dans les vingt dernières années, surtout depuis le développement des lignes de fer, la pression de la marche a successivement été portée de 2 à 8 atmosphères; la détente variable, pour être obtenue simplement par un seul tiroir, est venue exiger un élargissement notable dans les bandes des tiroirs, et par conséquent une course plus grande dans leurs mouvements. La pression sur la coquille devenant plus considérable en même temps que le chemin parcouru, la distribution a consommé des quantités notables de travail dans les machines puissantes, et la question des tiroirs équilibrés est devenue d'un grand intérêt. Aussi le nombre des dispositions proposées est-il chaque jour plus considérable, et parmi les derniers pouvons-nous citer les distributions à cylindres à garnitures métalliques, les plaques glissant entre deux plans parallèles, les tiroirs déchargés au moyen de la pression même de la vapeur par des pistons et hielles, etc.

Si nous cherchons à analyser les effets du frottement, nous trouvons que le travail consommé par le frottement du tiroir s'élève à 10 ou 12 chevaux-vapeur, pour une machine Crampton marchant à 180 tours par minute. En effet, sur un tiroir dont la coquille a une surface de 0,285 × 0,360 ou 1,026 centimètres carrés, l'effort en kilogrammes pour une pression de 8 atmosphères doit être évalué à 1,026 × 1,033 × 8 = 8,478 kilogrammes.

Ainsi chaque tiroir résiste comme s'il était chargé d'un poids de 8,500 kilog., et le déplacement simultané de deux tiroirs équivaut à celui d'une charge de 17,000 kilog.

Le rapport du frottement à la charge pour des surfaces onctueuses, fonte sur fonte, ne saurait être moindre que 0,15; l'effort à exercer pour déterminer le déplacement des tiroirs serait donc 0,15 × 17,000 = 2.550 kilog.

Il est vrai que par suite du découvrement des lumières, par suite des dispositions prises pour que dans la plupart des positions la vapeur pénètre sous une partie de la plaque du tiroir, par suite aussi de la contre-pression exercée sous la coquille, cet effort n'est pas constant, et en tenant compte de ces éléments on peut évaluer que sa valeur moyenne est réduite à 1,800 kilog.

Le chemin parcouru par cette résistance étant $0^m,08$ au minimum pour chaque course sera mesuré par $60 \times 0^m,08 = 0^m,48$ par seconde pour trois tours, et par conséquent le travail dépensé par seconde pour cette cause aura pour expression 1,800 kilogrammètres $\times\ 0^m,48 = 864$ kilogrammètres, c'est-à-dire 12 chevaux-vapeur environ.

Cette perte, relativement considérable, n'est cependant que le moindre des inconvénients de la pression exercée sur les tiroirs ordinaires, et c'est surtout aux manœuvres de changement de marche que son influence est grave.

On sait, en effet, que c'est en agissant sur le levier de mise en marche que le mécanicien, par l'intermédiaire de la coulisse, doit placer le tiroir de manière à marcher en sens contraire; cette manœuvre est surtout importante en cas de danger, et il faut qu'elle soit effectuée promptement.

Si nous consultons le *Guide du mécanicien conducteur de locomotives*, relativement à la distribution d'une machine Crampton, nous voyons que le changement de marche est obtenu par un déplacement de $1^m,50$ à l'extrémité du bras du levier.

La résistance moyenne étant de 1,800 kilog. et le chemin parcouru de $0^m,08$, on peut en conclure que l'effort moyen à l'extrémité du levier sera $\frac{1,800 \times 0,08}{1,50} = 96$ kilog. L'entier déplacement des tiroirs exigera un travail total de 1,800 × 0,08 = 144 kilogrammètres.

Ces chiffres indiquent assez combien la manœuvre est pénible, et pourquoi il est impossible qu'elle soit faite avec la promptitude que des circonstances graves peuvent exiger. Sans doute, en faisant, au préalable, fermer le régulateur on peut décharger les tiroirs, mais il en résulte une perte de temps qui peut être d'une extrême gravité.

Tout ceci montre bien l'importance de l'emploi des tiroirs équilibrés dans les locomotives, tant au point de vue de la perte du travail en marche courante, qu'au point de vue des accidents à prévenir; il est inutile d'ajouter que des efforts aussi considérables ne peuvent manquer de hâter l'usure des pièces et d'amener une prompte destruction des organes intéressés au mouvement des tiroirs.

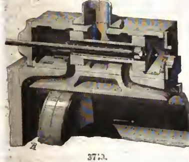
Le tiroir équilibré de M. John ressemble beaucoup, quant aux principes, au tiroir de Watt, si ce n'est que l'admission de la vapeur a lieu par les extrémités, l'échappement par la partie moyenne. Les deux chambres extrêmes sont mises en communication par un canal

cylindrique percé dans la longueur du tiroir; l'isolement des différentes chambres est obtenu par le frottement du tiroir lui-même contre les parois de la boîte.

Dans les machines de Watt, ce contact est assuré par deux garnitures en chanvre, épousant la forme demi-cylindrique du tiroir; dans la disposition actuelle, il résulte de la juxtaposition des parois fixes de la boîte et des parois mobiles des bandes du tiroir, dont la forme générale est celle d'un prisme triangulaire à section équilatérale.

La disposition représentée figure 3740 réalise donc ces deux conditions particulières :

1° Suppression de la garniture, et frottement direct



3740.

des surfaces métalliques dans les machines à haute pression.

2° Section triangulaire de la pièce mobile des tiroirs.

En ce qui concerne la suppression de toute garniture, l'expérience a prouvé qu'elle était possible puisque ces nouveaux tiroirs se sont maintenus, au chemin de fer de l'Est, pendant cinq, six ou huit mois, dans un excellent état d'entretien, durée que les tiroirs ordinaires sont loin d'atteindre en service courant.

Quant à la forme de la section, le constructeur paraît y avoir été conduit par le désir de n'employer que des surfaces planes bien dressées, qui lui permettent de régler facilement le degré de serrage et, par conséquent, d'éviter l'usure qui serait la conséquence inévitable d'un ajustage trop serré.

Le tiroir de Watt, comme celui-ci, était équilibré par rapport aux pressions qui pouvaient s'exercer tout autour du tiroir, à l'intérieur et à l'extérieur; il ne l'était pas par rapport à la pression exercée à travers des lumières sur les bandes du tiroir, puisque aucune pression ne venait la contre-balancer; cette pression était supportée par les garnitures du dedans au dehors. M. Jobin l'a également éliminée d'une manière simple au moyen d'une rainure transversale, faite dans tout le pourtour intérieur de la boîte, en face des lumières d'introduction. Cette rainure est toujours une communication avec les lumières, parce que celles-ci dépassent légèrement les limites latérales des bandes du tiroir, et de cette disposition il résulte que la compensation a toujours lieu, même pendant la période de détente.

Quelques personnes ont pu craindre que les tiroirs, maintenus comme dans des glissières au contact du plan des lumières, n'amenassent, dans certaines circonstances, des ruptures : on comprend, en effet, que le soulèvement des tiroirs peut être nécessaire toutes les fois qu'on oublie de purger les cylindres, parce qu'alors l'eau condensée, ne pouvant s'échapper par les lumières, devra faire bélier contre les fonds des cylindres lorsque les pistons viendront en contact. L'expérience a prouvé qu'aucun accident de cette nature ne s'est produit; il est moins à craindre sur les locomotives que sur toute autre machine, par cela seul que la température est plus élevée et que l'on purge souvent. Mais, à supposer que, dans d'autres cas, cette prévision s'accomplit, on y échapperait certainement, comme le faisait Watt dans ses premières machines, en plaçant sur les cylindres eux-mêmes des soupapes de sûreté.

Ajoutons enfin que le déchargement des tiroirs permet au constructeur l'éloignement des lumières et, par suite, la diminution des espaces nuisibles, et une meilleure utilisation du travail de la vapeur.

TISSAGE DES ÉTOFFES FAÇONNÉES. Le savant général Piobert, qui connaît aussi bien les procédés des industries qui s'exercent dans la ville de Lyon, dont il est originaire, que les théories de l'artillerie auxquelles il a fait faire tant de progrès, a consigné, dans le rapport du jury de l'Exposition universelle de 1855, le résumé suivant, d'une netteté parfaite, des découvertes successives accomplies dans les moyens de fabrication des étoffes façonnées; découvertes qui ont singulièrement contribué à l'admirable développement de notre belle industrie des soies.

Dès le milieu du siècle dernier, on avait généralement reconnu tout ce que la perfection des étoffes de soie devait à l'incessante activité, aux soins infatigables des fabricants de Lyon : goût exquis, élégance et richesse dans les dessins, légèreté, délicatesse et variété dans les compositions, fraîcheur et harmonie dans les couleurs, tout était répandu avec profusion dans leurs admirables productions. Cet état brillant est encore celui de nos jours. Si cette partie importante de la fabrication, objet constant de tant de soins, obtient depuis si longtemps un tel succès, il n'en a pas toujours été de même pour les moyens mécaniques employés au tissage, que la routine a souvent fait négliger. En effet, pendant plus de deux siècles, nous voyons mettre en usage, pour tisser les plus belles étoffes, le métier connu des Chinois depuis des milliers d'années, modifié seulement dans une de ses parties. La modification apportée vers 1606 consistait à remonter horizontalement, au moyen des poulies d'un cassin, les cordes de rame qui primitivement étaient verticales et soulevées par un deuxième ouvrier placé au-dessus du métier; par suite, cet ouvrier, nommé tireur des lacs et placé sur le côté du métier, dut agir en contraire de haut en bas sur le rame, soit directement au moyen des cordes de lisage, soit par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs samples, systèmes de cordes descendant verticalement dans un même plan jusqu'au sol où elles étaient fixées. Cette dernière disposition, dite *grande-tire*, permit d'augmenter presque indéfiniment le nombre de lacs en la hauteur et les couleurs du dessin. Avec la première disposition, dite *petite-tire*; on put bien accélérer le travail en facilitant le tirage par l'emploi de boutons agissant sur les cordes de lisage et placés sous une planche à portée du tireur (1620-1625); mais la confusion des cordes dans le corps de lisage, diminuée, il est vrai, par les dispositions ingénieuses de Galantier, de Blache et de Talendier frères, n'en subsistait pas moins encore pour les grands dessins. Aussi l'emploi de ce système fut toujours assez restreint; il le fut davantage lorsque les petites mécaniques, comme celles de Ponson et de Verzier, qui dispensaient d'un tireur de lacs, prirent un peu d'extension et qu'on parvint, au moyen de cette dernière, à exécuter avec la plus grande facilité des dessins qui avaient cent vingt cordes au ligatures, et deux cent quatre-vingt-huit coups de hauteur. Quant aux autres mécanismes inventés pour remplacer le tireur, ils ne purent jamais entrer dans la pratique : tels furent

les métiers à clavier, à tambour ou cylindre d'orgues, à cylindres percés ou avec relief, à bec de cane, à chapelet; enfin, les inventions tant vantées de Regnier aîné (1755), de Fleury-Dardois (1776) et de Perrin (1778), de Paulat (1777) et de Claude Rivey (1779).

Cependant, on avait trouvé depuis longtemps un procédé qui devait un jour l'emporter sur tous les autres, et être universellement employé pour toutes les espèces de tissus façonnés : l'idée de Basile Bouchon (1725), bientôt fécondée par le chef d'atelier Falcon, mettait entre les mains des ouvriers le moyen le plus propre à soustraire les métiers de grand façonné à la complication inextricable des nœuds et des cordes, en substituant à chaque lac une bande de carton percée de trous en des points déterminés par le dessin et enlacée avec ses voisines, de manière à former une surface continue et flexible. Chaque corde de sample, ou mieux encore chaque corde de rame remenée verticalement sur le côté du métier au moyen d'un double cassin, était fixée, par son extrémité inférieure, à un long crochet vertical en fil de fer passé dans la boucle d'une aiguille horizontale; les crochets étaient placés sur plusieurs rangs, et les aiguilles disposées en autant de couches superposées les unes aux autres; le tireur, étant assis, présentait successivement chaque bande de carton aux extrémités des aiguilles, pour repousser celles qui ne correspondaient pas aux trous; puis il enfonçait une pédale qui faisait descendre, au moyen d'une griffe, les crochets déplacés par ces aiguilles; c'était à très-peu près la mécanique en usage actuellement, en la supposant renversée.

Un transport de lisage avec perçage accéléré des cartons était la seule chose qui restât à trouver, afin de diminuer la dépense et le temps nécessaire au montage des dessins. Ce ne fut qu'après vingt années de recherches (1748) que Falcon arriva à perfectionner son métier et à compléter son œuvre, en inventant la machine à lire et à percer les cartons au moyen d'une transmission d'emporte-pièces et de plusieurs abatages successifs, procédé qui resta un secret de famille jusque dans ces derniers temps. Malgré tous les avantages des mécaniques à la Falcon, qui portaient 200, 400 et même 600 crochets, malgré le privilége que leur accorda, en 1744, le règlement sur les manufactures, il n'y en eut jamais plus de cent; quelques-uns de ces métiers travaillaient encore à Lyon en 1817.

A peu près à l'époque de ces perfectionnements, c'est-à-dire il y a plus d'un siècle, Vaucanson, qui avait inventé le premier métier mécanique pour les étoffes unies (1745), essaya également de supprimer le tireur de lacs. A cet effet, il se rapprocha du métier primitif des Chinois, en supprimant cordes de rame, sample et cassin; puis, plaçant sur le métier, sens dessus dessous, la mécanique de Falcon, il remplaça le tireur par un mécanisme de son invention; mais il eut le tort d'abandonner la série en chaîne de bandes de carton de cet inventeur, ou plutôt d'en revêtir un cylindre en bois également percé de trous. Ce cylindre effectuait à chaque coup ou descente de la marche un petit mouvement de rotation, et avait en même temps, au moyen d'un chariot, un mouvement horizontal de va-et-vient, pour présenter successivement de nouvelles rangées de trous aux aiguilles des crochets et repousser ceux de ces derniers qui ne devaient pas être enlevés par la griffe.

Cinquante années s'écoulèrent sans que ce métier, exposé d'abord dans la collection du grand mécanicien, puis au Conservatoire des arts et métiers, fût employé ou imité. Ce ne fut qu'après avoir pris un brevet de dix ans, *le 23 décembre 1804, pour une machine destinée à suppléer le tireur de lacs dans la fabrication des étoffes brochées et façonnées*, mécanique analogue à celle de Verzier, que Jacquard, venu à Paris, en 1803, pour présenter son métier à fabriquer le filet de pêche, eut l'idée très-simple de rétablir, sur le mécanisme de Vaucanson, la séparation des bandes de carton de Falcon qui fonctionnaient parfaitement à Lyon depuis soixante-quinze ans, et dont l'application sur un cylindre limite toujours beaucoup trop le nombre des lacs ou la hauteur du dessin. Mais cette simple réunion ou plutôt juxtaposition de deux inventions, dont l'une n'était jamais entrée dans la pratique, ne put marcher couramment dans les ateliers que lorsque le mécanicien Breton l'eut sensiblement améliorée, 1° en s'associant, vers 1803, avec Jacquard pour inventer les élastiques des aiguilles, en remplacement des talons des crochets, retirer les repères de la planche aux aiguilles et les placer sur chacune des quatre faces du cylindre, afin de mieux diriger le développement des cartons; 2° en imaginant bientôt, lui seul, de renfermer les élastiques dans une boîte et, vers 1807, de substituer un battant ou balancier au chariot de Vaucanson; 3° en adoptant, au commencement de 1815, une presse à la griffe pour écarter le battant à la levée et le rapprocher à la descente, de manière à serrer le cylindre contre la machine afin de repousser les aiguilles; 4° enfin en construisant, dès 1812, une machine à transporter le lisage des dessins sur les cartons; puis en inventant, vers 1816, sa machine à lire et à percer les cartons dans un système analogue à celui de Falcon, mais perfectionné. Alors seulement la mécanique dite *à la Jacquard* put devenir d'un usage avantageux dans la pratique, et l'adoption de ce métier, qui d'abord avait été très-lente, devint bientôt générale : là commence une ère nouvelle pour la fabrication de toutes les espèces de tissus façonnés.

Ce grand progrès ne fut obtenu, on le voit, qu'après beaucoup d'hésitation et de longs tâtonnements, quoique tous les éléments du système fussent connus depuis longtemps; ce fut faute de coordonner ensemble ces éléments, et de les simplifier en les adaptant les uns aux autres, qu'on resta tant d'années pour atteindre le but; mais simplifier c'est le lot du génie, tandis que le vulgaire croit inventer lorsqu'il multiplie outre mesure des moyens très-ordinaires. Combien de fois n'a-t-on pas pris de fausses directions, et même rétrogradé, pendant ces quatre-vingts années de tentatives diverses, avant d'arriver à la véritable solution! Falcon trouva d'abord de nombreux contradicteurs; un seul fabricant le soutint vigoureusement; plus tard il fut approuvé, puis imité par Vaucanson dans le métier qui supprimait le tireur de lacs; mais ce grand mécanicien faillit lui-même faire reculer la question, faute de bien connaître les besoins de la fabrication des étoffes façonnées, en fixant les bandes de carton de Falcon sur un cylindre qui n'aurait pu convenir tout au plus que pour l'exécution de petits dessins.

Trente années plus tard, un homme qui eut dans son temps une certaine renommée pour les améliorations qu'il apporta à la grande tire, de Lasalle, se trompa également, mais en sens contraire, dans la croyance que le progrès consistait à faciliter les moyens d'augmenter indéfiniment le nombre des cordes de rame et celui des coups de hauteur des dessins. On monta, à cette époque, des grandes tires à trois mille deux cents cordes de rame et à quatre-vingts samples; mais, à peine montés, ces immenses appareils furent abandonnés; quelques-uns même n'ont jamais rien exécuté, et ces essais infructueux furent bientôt complétement oubliés. Le progrès n'était pas là; ce ne fut qu'une leçon achetée chèrement par la fabrique de Lyon.

Ces alternatives presque périodiques, ces aberrations qu'on serait tenté de juger sévèrement aujourd'hui, qui tantôt font négliger les procédés les plus avantageux, et tantôt jettent dans l'emploi exagéré

des moyens ordinaires, sont peut-être plus près de se renouveler qu'on ne le pense. Voyons ce qui s'est passé de nos jours.

Les observateurs qui ont suivi pendant les cinquante années écoulées depuis Jacquard et les premiers travaux de Breton les états successifs par lesquels le tissage des étoffes de soie façonnées a passé, ont pu remarquer combien les époques de progrès ont été courtes et rares; le temps pendant lequel la fabrication a été stationnaire ou même rétrograde, relativement aux perfectionnements rapides des autres tissus, a occupé la presque totalité de ce demi-siècle. Cependant le commencement de cette longue période avait été fécond en améliorations de toute espèce, et la fabrique de Lyon avait fait d'immenses progrès dus aux travaux des Dutilleu, des Camille Beauvais, des Charles Depouilly et Schirmer; mais, comme les faveurs de la fortune n'avaient pas été en rapport avec la grandeur de ces efforts, une excessive prudence a empêché la plupart de leurs successeurs de pousser plus avant, et les a fait errer timidement sur le terrain conquis par ces hardis pionniers. Pourtant les inventeurs et les inventions n'ont pas fait défaut depuis lors; mais chaque fabricant a plus visé au certain qu'au progrès, et a surtout redouté les chances des essais que demande toujours une invention, une innovation quelque légère qu'elle soit.

Cette indifférence dans le choix des meilleurs procédés à employer pour la fabrication des étoffes de soie façonnées se prolonge encore, et ce qui se passe à présent en donne une nouvelle preuve; car, si nous consultons les faits, nous voyons M. Meynier, déjà connu par d'ingénieuses et utiles inventions, imaginer en 1850 (brevet du 7 février 1851) un nouveau montage de métier pour les grands dessins dans lesquels la découpure se fait par plusieurs fils à la fois; montage très-avantageux, sous le rapport de la composition des dessins, pour opérer tous les effets de trame et qui dispense des lisses de rabat, dont l'emploi énerve la chaîne, complique et ralentit le tissage. La chambre de commerce de Lyon et vingt-cinq fabricants achètent le brevet, en 1852, pour que tous puissent profiter de ce grand perfectionnement. Qu'arrive-t-il? Depuis plus de trois années que l'emploi du procédé de M. Meynier est facultatif, deux maisons seulement adoptent et mettent en pratique ce montage de métier, tandis que les autres s'en tiennent aux anciens errements pour obtenir les grands façonnés; il en est même qui pensent arriver ainsi à des produits exceptionnels, et que, pour cela, il suffit de multiplier les procédés ordinaires de fabrication sans craindre d'augmenter outre mesure les embarras du tissage. Cette mauvaise direction, dans laquelle on se laisse entraîner par la routine, n'a pas d'issue; on sera bientôt acculé dans cette voie et forcé de rétrograder; l'histoire de la fabrique de Lyon a montré, on l'a vu, de tels exemples dans le siècle dernier.

Ce n'est pas la première fois qu'on a fait fausse route en prenant des tours de force pour des progrès; ils éblouissent la foule, il est vrai; mais bientôt ces fantômes brillants disparaissent, entraînant avec eux les industriels qui se sont lancés à leur poursuite. Le prix de revient étant alors hors de proportion avec l'objet fabriqué et avec ce qu'il est raisonnablement possible d'admettre dans le commerce, le produit ne peut entrer dans la consommation. Le progrès n'est pas encore là, et les hautes récompenses distribuées à l'industrie devraient tomber ailleurs; par exception, cela eût-il lieu, le jury manquerait complétement à sa mission, s'il laissait croire à un encouragement de sa part à suivre cette fausse direction, en ne récompensant pas, au moins au même degré, ceux qui marchent résolûment dans la voie du progrès; cette voie ne saurait être autre que la recherche des procédés les plus simples, ou les plus faciles à employer pour arriver à chaque espèce de produits, même aux plus beaux, afin d'en étendre l'utilité, d'en modérer les prix et, par suite, d'en augmenter la consommation.

Métier F. Durand — Nous ferons suivre cette intéressante notice de quelques mots sur une tentative d'un grand avenir due à l'ingénieux M. F. Durand, pour produire, dans des conditions tout à fait semblables à celle de l'espoulinage, les tissus façonnés les plus compliqués, et cela en s'appuyant uniquement sur le métier à la Jacquard. Les tentatives faites jusqu'ici reposent, en général, sur des appareils connus sous le nom de *battants-brocheurs*; mais, comme ils ne peuvent exécuter que des dessins disposés d'une manière spéciale et qu'ils exigent le concours d'ouvriers intelligents et habiles, leur usage présente de la lenteur et occasionne en partie les frais qu'entraîne le travail des Orientaux.

Ce qui caractérise, au contraire, l'invention capitale de M. Durand, c'est de n'entrelacer le fil de couleur, destiné aux effets façonnés ou modelés, qu'au point où il doit apparaître, sans que le travail soit plus difficile et que le métier présente plus de complication qu'un métier ordinaire à la Jacquard. Loin de modifier celui-ci, l'inventeur a eu l'heureuse inspiration d'en étendre les services en le chargeant de nouvelles fonctions. A la série des crochets ordinaires, destinés au mouvement des fils de la chaîne, pour livrer passage à la trame dans une direction uniforme et continue d'une lisière à l'autre, M. Durand ajoute une autre série de crochets, destinés à faire pour la trame ce que ceux du système Jacquard n'ont exécuté jusqu'ici qu'en vue de la chaîne.

Ces crochets pour le service de la trame portent, à l'extrémité inférieure, une petite bobine. Lorsqu'une couleur est demandée en un point quelconque, le crochet avec la bobine de la couleur demandée s'abaisse spontanément à l'endroit convenable. Supposons, par exemple, que six fils, sur une chaîne de mille, doivent être entrelacés par un fil de couleur quelconque, ces fils seront soulevés comme à l'ordinaire par le mécanisme Jacquard, et en regard du premier de ces six fils, à une hauteur correspondante au plan passant par le milieu de l'angle formé par ces fils et ceux de la chaîne restés immobiles, le même mécanisme et le même carton qui a fait soulever ces six fils feront abaisser 1° un crochet-bobine avec la couleur voulue; 2° un second crochet-bobine vide après le sixième fil. Les choses étant en cet état, une navette, modifiée dans ses détails, est chassée comme à l'ordinaire; seulement cette navette n'a pas de cannette à son départ et n'est pas chargée de trame, attendu que dans sa course elle enlève la bobine du crochet qui l'attend et développe ce fil jusqu'à ce qu'elle rencontre le second crochet-bobine vide qui lui reprend la bobine, puis les deux crochets remontent spontanément à leur position initiale. Ces mouvements de la navette des crochets-bobines, de la livraison et de la reprise de celles-ci ont lieu avec une rapidité et une précision vraiment merveilleuses. Pour simplifier l'exposé et faire saisir le principe, nous n'avons parlé que d'un élément; leur nombre, on le conçoit, pourra se multiplier autant que de besoin.

Ce qui est important à signaler dès aujourd'hui, c'est l'apparition d'un système nouveau qui fractionne les effets de trame et permet d'entretenir sur la même ligne et dans la même direction, d'une manière contiguë et avec une solidité irréprochable, une infinité de petites trames de couleur, ce qui était impossible jusqu'à ce jour.

Cette invention paraît destinée à doubler la puissance du métier Jacquard, et datera sans doute comme celle qu'elle vient compléter.

TOURS COMPOSÉS ET MACHINES A GRAVER ET A SCULPTER. Le savant Poncelet, dans son admirable étude sur l'histoire des inventions industrielles depuis la fin du siècle dernier, a repris la question des tours composés qu'avaient obscurcie, comme à plaisir, nombre d'auteurs d'énormes volumes remplis d'une foule de choses, sauf de l'exposé des principes mêmes sur lesquels reposent ces appareils. Il l'a élucidée, en la traitant en maître, et a encore rendu là un service à ceux qui sont heureux de profiter des excellentes leçons qu'il a su donner sur toutes les parties de la mécanique industrielle, qui feront vivre son nom attaché au grand développement que cette science a reçu de nos jours. Nous lui emprunterons la majeure partie de cette étude en cherchant à en rendre la conception facile par des figures et des descriptions des principaux appareils.

§ 1er. TOURS ET MACHINES A ÉQUIPAGES MOBILES.

Le tour usuel à pointes et poupées-supports fixes, le tour à mandrin et à collets ou lunettes d'appui, qui se réfèrent plus particulièrement à la rotation des corps autour d'un axe fixe ou changeant; les divers chariots mécaniques, les chariots à va-et-vient cheminant sur galets, rails ou coulisses, qui, d'autre part, se réfèrent plus spécialement au glissement, à la translation rectiligne ou curviligne; les tours et les chariots, dis-je, considérés isolément, soit comme porte-objets destinés à être façonnés diversement, soit comme porte-outils coupant, rabotant, rodant, sciant, etc.; les tours et les chariots enfin, tantôt simples, tantôt combinés entre eux ou avec eux-mêmes, constituent les instruments de travail par excellence, des outils pour ainsi dire universels. Ce sont surtout des instruments de précision pour dresser les surfaces planes ou cannelées, façonner les corps ronds et même les surfaces obliques ou rampantes autour d'un axe rectiligne. Ces dernières surfaces, en effet, bien que privées du caractère rigoureux de symétrie qu'on observe dans les corps de révolution, n'en sont pas moins susceptibles d'être exécutées avec régularité et promptitude au moyen des organes élémentaires dont il vient d'être parlé, aidés de dispositions plus ou moins savantes et délicates, qui se laissent apercevoir dans les machines à raboter à mortaiser, perforer, polir ou dresser; dans les machines à scier, débiter les pierres ou les bois en dalles, en planches plus ou moins minces; mais plus particulièrement encore dans les tours à guillocher, graver et sculpter, nommés *tours à combinaisons*, *à portraits* ou *figurés*.

Ces derniers tours, munis de mandrins porte-objets, comme le *tour en l'air* proprement dit, s'en distinguent, on le sait, non-seulement parce que le mandrin n'y est point simplement fixé au bout ou *bec* de l'arbre tournant, et comporte quelquefois une combinaison de pièces nommées *ovales*, *excentriques*, pour sculpter, tailler les objets suivant des formes elliptiques et épicycloïdales, mais en ce que l'arbre lui-même est susceptible de se mouvoir longitudinalement ou par glissement dans ses collets à poupées-supports fixes, ou transversalement et parallèlement, avec ces collets et leurs poupées, par glissement, translation directe ou rotation sur un châssis-support à charnières inférieures, elles-mêmes fixes. A cet effet, les tours dont il s'agit comportent extérieurement ou intermédiairement, tantôt à l'extrémité opposée de l'arbre, tantôt transversalement à sa direction, des repoussoirs formés jadis de contre-poids, aujourd'hui principalement de ressorts qui obligent cet arbre à s'appuyer sans cesse par une touche émoussée, soit contre des plans obliques ou des surfaces taillées en hélice, pour exécuter des surfaces rampantes, biaises, torses, etc., soit contre des gabarits à couronnes de champ, à rosettes ondulées latéralement ou extérieurement, et qui, montés transversalement sur l'arbre même du tour, obligent le mandrin à subir divers mouvements indépendants de celui de sa rotation propre, en face de l'outil tranchant dont les biseaux variés, à support intérieur ou latéral immobile, parcourent l'objet, le taillent suivant des contours ou des formes nommés proprement *guillochis*.

Mais ces différents tours, qui rentrent tous essentiellement dans la catégorie de ceux à combinaisons, ne sont pas uniquement employés pour l'exécution rigoureuse de formes mathématiquement définies; ils le sont encore pour le tracé, la copie et la réduction de figures artistiques, sur le plan ou le relief, au moyen de procédés qui constituent de véritables transformations géométriques de ces figures, et nécessitent, par là même, des transformations correspondantes de mouvement, rentrant plus spécialement dans le domaine de cette partie de la science que notre illustre Ampère a nommée *Cinématique*: transformations et combinaisons qui, à dater du quinzième siècle, ont aussi exercé le génie inventif du grand peintre Léonard de Vinci et des célèbres académiciens ou géomètres de Lahire, de Lacondamine et Clairaut. C'est que, en effet, ces tours et leurs analogues offrent un sujet intéressant d'études pour la richesse et l'élégance des solutions géométriques auxquelles ils donnent lieu, et qui se rattachent, comme on sait, à l'antique problème des épicycles, des courbes mécaniques et des mouvements relatifs sur le plan ou dans l'espace.

Le tour, envisagé dans son primitif état de simplicité, celui où une pièce déjà dégrossie ou arrondie, tournée par une impulsion plus ou moins directe, sur des appuis fixes horizontaux ou verticaux, en présence et sous l'action lente d'un outil que l'ouvrier transporte, promène successivement le long d'un support fixe, parallèle à l'axe de rotation; dans cet état de simplicité, dis-je, le tour a dû être connu dès la plus haute antiquité, et c'est ce qu'attesteraient, au besoin, divers passages de Vitruve, en tant qu'il s'agisse d'instruments à travailler les objets de petites dimensions. Mais s'en servait-on également pour arrondir le fût de certaines colonnes monolithes, les arbres de moulins ou enfin les vases précieux que nous ont légués les Grecs, les Romains, les Chinois même des époques contemporaines? Cela est tout aussi probable, pourvu encore qu'il s'agisse d'outils, de procédés mécaniques analogues à ceux généralement employés aujourd'hui dans l'art du charpentier, du marbrier ou du potier; soit que d'ailleurs la pièce elle-même tourne sous l'impulsion directe de manivelles à bielle, ou de tiraudes à main, de roues, de volants à pédales, etc.; soit qu'au contraire cette pièce restant fixe, l'outil soit dirigé au moyen d'un châssis à gabarit, à profil tournant sur l'axe de symétrie de cette pièce.

Quant aux tours figurés et à combinaisons, nécessaires pour exécuter les surfaces rampantes, excentriques, ovales, à guillochis, etc., leur usage ne doit guère remonter au delà du quinzième siècle, où le célèbre Léonard de Vinci, suivi à un siècle de distance par le Lyonnais Jacques Besson et par Salomon de Caus, l'ingénieur français des princes palatins, y ajouta divers perfectionnements ou artifices auxquels le célèbre mathématicien et médecin Jérôme Cardan lui-même n'aurait point été étranger, d'après les auteurs italiens, et qui prouvent tout au moins qu'on avait senti dès le seizième siècle le besoin de découvrir quelque procédé mécanique pour exécuter sur le tour les objets d'une forme différente de celles des corps de révolution, notamment les surfaces rampantes et à sections elliptiques quelconques.

Au surplus, la plupart des tours à combinaisons, avec axes et mandrins diversement mobiles et très

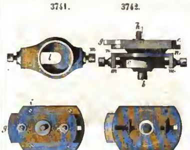
qu'on en employait dans les deux derniers siècles, ces tours rentrent dans la classe de ceux qui étaient bien plutôt destinés à exercer la patience de nos ancêtres qu'à développer leur industrie manufacturière ou artistique, et, si l'on en juge par les modèles exposés au Conservatoire des arts et métiers, ainsi que par les planches des ouvrages de Plumier, de Bergeron et du tome X (1772) de la grande *Encyclopédie*, il est tout au moins douteux qu'ils aient appliqué le tour rampant à d'autres matières que l'ivoire, le buis, etc., dans des proportions naturellement très-petites; ce qui doit s'entendre également des tours à rosettes et à couronnes servant à guillocher, et où l'on employait exclusivement les supports à outil fixes. On peut voir dans ces ouvrages ce qu'étaient devenus, à la fin du dernier siècle ou au commencement de celui-ci, ces différents tours, et combien on était loin encore d'y faire marcher automatiquement l'outil, comme Besson l'avait anciennement tenté, au moyen d'une longue barre horizontale supérieure et parallèle à l'axe de rotation, portant une coulisse ondulée où l'outil pouvait occuper des positions diverses, tandis que la barre elle-même, susceptible de descendre et de monter alternativement dans d'autres coulisses verticales, y était animée d'un va-et-vient horizontal, déterminé par des guides ou platines de soutien tournantes, découpées en rosettes, en ovales, de dimensions et situations identiques, et dont les plans inclinés, parallèles, étaient fixés sur l'arbre même du tour, extérieurement et symétriquement, par rapport à ces poupées.

L'obscurité des termes et de la figure explique le dédain qu'en a fait Plumier dans la préface de son *Traité sur le tour*, dont la seconde édition contient d'ailleurs, sous forme d'appendice, les mémoires déjà cités de Lacondamine, ainsi que la description du rabot servant à guillocher les manches de couteaux, attribué aux Anglais, et dont le porte-outil, conduit par une longue vis suivant l'angle de la pièce ou du manche monté sur un arbre à rayon et cadran diviseur, est dirigé dans ses excursions verticales par un gabarit qui offre quelque analogie avec le dispositif, un peu vague, adopté par Besson. On a bien plus lieu encore d'être surpris que Plumier et son imitateur Bergeron aient accordé si peu d'attention aux tours à outils mobiles véritablement automatiques et dont il existait pourtant à leur époque un remarquable exemple dans la machine à copier et réduire les médailles, d'origine très-ancienne, incontestablement allemande, mais qu'ils mentionnent à peine, et dont les planches 43 et suivantes de l'*Encyclopédie* de 1772 offrent un spécimen d'autant plus digne d'intérêt qu'elles appartiennent à une forte machine construite entièrement en fer, avec la perfection que comportaient les tours à plusieurs fins ou à combinaisons multiples dont on voit divers modèles au Conservatoire des arts et métiers de Paris: parmi ces modèles, on admire surtout le tour à guillocher de Merklein, construit en 1780 pour Louis XVI, et celui à portraits donné par le czar Pierre le Grand, sans autre indication d'origine, mais qui, remontant à une date de beaucoup antérieure, peut servir à constater le point où en était déjà arrivée la construction de ce genre d'outils en Allemagne.

Pour faciliter l'intelligence de ce qui précède, je donnerai ici les figures et les descriptions du tour ovale et du tour à guillocher.

Le tour ovale ou elliptique consiste dans une disposition particulière du mandrin porte-objet dont nous chercherons à donner une idée nette. Ce mandrin consiste en trois parties : le plateau, le chariot glissant, enfin l'excentrique. Le plateau est assemblé avec le mandrin par une vis (fig. 3741) de manière à prendre le même mouvement que celui-ci. La face du plateau porte deux guides *i*, *i*, maintenant le chariot glissant *gh*, portant en son centre la vis saillante *h* sur laquelle se monte le mandrin de bois qui porte la pièce à façonner. Le mouvement de glissement qui apparaît avec le mouvement de rotation est produit par le moyen d'un cercle excentrique (fig. 3742) en laiton attaché à la poupée du tour et à travers lequel passe librement la vis d'assemblage qui passe par l'ouverture *l*; le châssis *m*, qui porte le cercle dont il vient d'être parlé, est fixé par deux vis placées en face l'une de l'autre, dont la pointe entre dans deux petits trous; le dessous du châssis repose sur la surface plate *c*. Ces deux vis sont horizontales et leur direction commune rencontre l'axe.

3741. 3742.

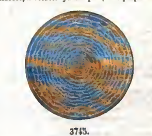


3743. 3744.

En faisant avancer une des vis et reculer l'autre, on peut obtenir des excentricités variables. Le plateau porte deux rainures parallèles à la longueur du chariot, destinées à laisser passer librement deux vis qui assemblent les deux pièces d'acier parallèles entre elles, dont l'écartement est égal au diamètre du cercle qu'elles pressent, forçant ainsi le chariot à suivre ses mouvements, à se déplacer en raison de son excentricité.

La grandeur d'excentricité, la différence entre le grand et le petit axe, résultent donc clairement de la position du châssis *mn*, qui agit comme une véritable excentrique circulaire, et c'est la combinaison de ce mouvement avec le mouvement circulaire qui engendre la forme ovale fort utile pour les arts; ce qui rend ce tour très-précieux pour nombre d'industries qui en font grand usage.

Tour à guillocher. — Le tour à guillocher fournit le moyen d'obtenir des décorations, des tracés de courbes entrelacées, à volutes symétriques, très-propres à l'ornement dans une foule de cas analogues à celui que représente la figure 3745, exécutée avec ce tour, notamment pour la gravure peu profonde d'une foule de

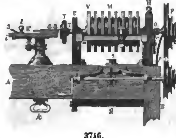


3745.

pièces d'orfèvrerie, d'horlogerie. C'est à l'aide de disques aux contours desquels on a donné des formes convenables, de *rosettes* qu'on y parvient.

Le tour à guillocher diffère du tour ordinaire en ce que le centre du cercle qu'on décrit, en chaque instant, chaque point de la surface sur laquelle on opère, n'est plus un point fixe, mais éprouve un petit mouvement d'oscillation qui engendre des courbes d'autant plus différentes de la circonférence d'un cercle, que pour une même rotation les oscillations sont plus fréquentes et ont plus d'amplitude par rapport à la distance au centre.

La pièce étant montée à l'aide d'un mandrin sur l'extrémité de l'arbre T (fig. 3746), il s'agit de donner



3746.

à cet arbre le mouvement voulu pour que l'outil coupant étant fixe produise le contour cherché. A cet effet, les deux supports de l'axe C et H, au lieu d'être fixés directement au banc comme dans les autres tours, descendent entre les deux jumelles d'une part de banc en fonte, jusqu'au-dessous de l'établi acajou A; ils sont réunis par l'axe P parallèle à celui du tour et qui est supporté sur des pivots vers ses extrémités, pivots portés par des pièces de fonte garnissant les jumelles et consolidés par la barre de fer Q qui les réunit. Les deux supports CH ne forment plus ainsi qu'une seule pièce.

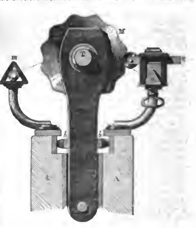
L'extrémité de l'axe portant donc la pièce à travailler, l'outil étant monté sur le support à chariot et amené à une distance de l'axe convenable pour la courbe à tracer, un mouvement d'oscillation est communiqué à l'axe par les rosettes de métal qui lui sont adaptées comme on le voit dans la figure 3747.

Ces rosettes sont pressées par un petit rouleau porté par l'extrémité de la pièce *n* glissant dans une coulisse portée par une barre triangulaire *m* parallèle à l'axe et montée à l'extrémité d'un support courbe. Quand l'axe tourne, les saillies et les creux de la rosette en prise s'appliquent sur le rouleau dont l'axe ne peut se déplacer, c'est l'axe du tour et du bâti CH qui prend un mouvement d'oscillation. Cet effet est assuré par l'action d'un fort ressort caché dans l'intérieur de l'établi A, qui fait toujours presser la rosette sur la roue n. Celle-ci peut glisser le long de la barre de manière à venir se mettre en contact avec une quelconque des rosettes au nombre de 15 ou 20 en général montées sur le tour.

Dans quelques cas, lorsque les creux ont peu de largeur, on ne peut se servir du rouleau qui garnit une extrémité de la barre n; on se sert alors de l'autre extrémité qui est arrondie et polie avec soin pour diminuer le frottement.

En donnant au mandrin seulement la faculté de se mouvoir en ligne droite, les modèles montés sur le tour peuvent fournir des guillochés en ligne droite, au lieu de guillochés dans une direction circulaire.

Un moyen de varier les dessins que l'on peut obtenir avec les mêmes rosettes consiste à les faire tourner



3747.

un peu sur leur axe pendant le travail. La fig. 3744 est un exemple des résultats obtenus par ce mode d'opérer. C'est une rose à 24 saillies. Après avoir tracé la ligne extérieure, et le ciseau ayant été amené par le support à la position convenable pour tracer la seconde ligne, on a fait tourner la rosette autour de l'axe de 1/4 d'une saillie ou 1/96e de la circonférence du cercle; les extrémités des saillies de cette seconde ligne ne tombent plus alors sur les rayons correspondants de la première, mais sont un peu en avance. On a opéré de la même manière pour les lignes successives et on a eu des résultats semblables.

Les cercles concentriques sont tracés équidistants au moyen de divisions tracées sur le chariot K ou sur la tête de la vis qui fait mouvoir l'outil, et les rosettes sont fixées dans la position convenable à l'aide d'une plaque circulaire montée sur l'axe vers l'extrémité H. C'est une chose surprenante que la multitude d'effets différents qui peuvent être obtenus d'un certain nombre de rosettes en variant les positions. Par exemple, si, après avoir tracé une ligne ondulée, la rosette est avancée d'une demi-division, sans changer la position de l'outil, les deux lignes s'entrelacent et forment une chaîne, une série de boucles.

Pour orner la surface d'un cylindre, l'outil n'est plus placé comme sur la figure; on fait faire au support à chariot porte-outil un quart de tour; c'est ainsi que l'on grave beaucoup de rouleaux pour l'impression sur étoffes. C'est l'axe qui se meut sous l'action de rosettes qui portent des ondes sur leur plat, pendant qu'une rotation du cylindre, d'un arc déterminé, est produite. Par cette disposition, des lignes ondulées peuvent être gravées sur la surface d'un cylindre dans le sens de sa longueur.

Tour à portraits. — Le tour à portraits, à peine connu en France à l'époque de 1749 où parut la 2e édition de Plumier, était déjà mentionné en 1733 dans le second mémoire de Lacondamine, et ce fut, si je ne me trompe, seulement dans la traduction allemande de ces ouvrages, que fit paraître, en 1776, l'imprimeur Breitkopf à Leipsick (p. 45 à 49), que

se trouve reproduite, d'une manière, à la vérité, imparfaite, la description d'un tour à médailles (*contre-fail-works*), extraite d'un autre livre publié en 1740, par Jean-Martin Teubers, de Ratisbonne, dont la famille s'était, depuis plus d'un siècle déjà, acquis une certaine célébrité dans l'art du tourneur ou guillochis, art qui s'était singulièrement propagé à Nuremberg, la patrie des jouets mécaniques, etc. On y aperçoit, en effet (pl. 80), l'arbre à roue motrice, cordon sans fin, etc., parallèle à celui du mandrin, muni à ses extrémités de la médaille à copier et du disque à graver; les deux tambours, à diamètres inégaux d'après l'échelle de réduction, où s'enroulent les petites chaînes horizontales qui servent à faire mouvoir, avec la hauteur indispensable et du centre à la circonférence des médailles, la touche-repoussoir de l'arbre du mandrin, lui-même retenu par une lame de ressort horizontale, et l'outil à grain d'orge servant à entailler circulairement ou en spirale l'objet fixé au bout opposé; enfin les petits chariots ou traîneaux porte-touche et porte-outil, glissant de part et d'autre de l'arbre du tour dans des coulisses horizontales parallèles, et que sollicitent des contre-poids de recul remplacés par des bascules à ressort dans le tour moderne et plus parfait de l'*Encyclopédie*. Ce dernier tour comporte, en outre, comme je l'ai dit, des équipages de rosettes ou de couronnes multiples, le tout surmonté, vers le haut, d'une roue motrice verticale, à cordon sans fin croisé et vis de tension, avec volant régulateur et manivelle coudée par une tiraude qui sert à donner le mouvement automatique à l'ensemble muni d'ailleurs d'un équipage de roues dentées et de vis sans fin, enfermées dans une boîte, sur l'un des côtés de la machine, pour ralentir au besoin, et dans une proportion convenable, la vitesse relative des divers organes du tour à portraits : des combinaisons analogues, mais sous des conditions mécaniques moins parfaites, existent dans les tours de Martin Teubers et de Pierre le Grand, qui, sans nul doute, ont donné lieu aux tours à guillocher, à graver, à sculpter modernes, où, à l'inverse de ce qui se faisait auparavant, l'outil est conduit d'une manière purement automatique, tandis que l'arbre du mandrin, tournant sur lui-même, est maintenu immobile dans ses collets.

Au surplus, je ne dois pas laisser échapper l'occasion de faire remarquer, avec M. Willis, que les planches 37, 38, 84, 85, et 86 de l'*Encyclopédie* (t. X, 1772) comportent une collection de porte-outils tournant, glissant en différents sens et munis de coulisses, de manivelle, de vis de réglage, etc., qui montrent que ce n'est point aux artistes de l'Angleterre, aux célèbres Joseph Bramah et Henry Maudslay notamment, que nos ateliers sont redevables de ces ingénieux et utiles appareils, qui, susceptibles d'être adaptés à vis et écrou en un point quelconque de l'établi d'un tour, rendent à cet égard les plus grands services; mais ce qui paraît leur appartenir en propre, c'est, il faut bien le reconnaître, l'usage de ce même appareil comme support à chariot (*slide-rest*), glissant le long de tiges ou coulisses en fer dans les tours parallèles à travailler les métaux; encore doit-on ne pas perdre de vue qu'on s'est servi dans le dernier siècle, en France, de moyens analogues pour diriger spontanément la course du chariot porte-outil, moyens dont M. Willis fait remonter le premier exemple à l'année 1648, où le R. P. Mugnan, minime de Toulouse, le même dont Plumier parle avec éloge dans la préface de l'*Art du tourneur* sans en citer les ouvrages, publia à Rome les dessins de deux tours fort curieux pour exécuter automatiquement les surfaces de miroirs métalliques, sphériques, hyperboliques ou plans. Or, les Anglais ont eu l'incontestable mérite d'étendre les applications de ce genre d'outils à leurs grandes machines à aléser, tourner, fileter les fortes pièces de fonte ou de fer, machines dans lesquelles l'équipage à chariot est conduit parallèlement, d'une manière vraiment spontanée, par un système d'engrenages à roues fixes de rechange ou quadrature, à crémaillère ou à chaîne sans fin; mais cela n'ôte rien au mérite des originales conceptions des Nicolas Focq, des Lelièvre, des Gédéon Duval, des Taillemard, des Ferdinand Berthoud et des Caillon, ni même à celui des combinaisons, en quelque sorte inverses, par lesquelles les Plumier, les Grandjean, les Frédéric Japy et autres ont imaginé de tailler de petites vis cylindriques ou coniques, en imprimant à l'arbre du tour un mouvement direct en hélice, au moyen de vis mères, de plans inclinés mobiles avec la roue motrice, etc.

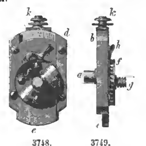
Tours anglais. — La limite que je me suis imposée relativement aux anciens tours à guillocher, dont l'usage, remontant au moins au dix-septième siècle, fut, pour ainsi dire, délaissé vers la fin du dix-huitième, à cause de leur extrême complication, puis repris au commencement de celui-ci, sous des formes et des combinaisons plus simples, plus délicates et jouissant d'un véritable caractère automatique, cette limite ne doit pas m'empêcher de rappeler ici, d'après le témoignage de notre collègue, M. Séguier, aussi habile qu'éclairé dans l'art difficile de tourner, que MM. Holtzappfel et Deyerlein, de Londres, avaient, en 1825, fait un excellent usage du support à chariot porte-foret des anciens tours pour guillocher et sculpter, par des recoupements réguliers, variés à l'infini au gré de l'artiste, divers objets de tabletterie, au moyen d'outils trempés, de formes diverses et tournant avec vivacité sous l'action d'un cordonnet sans fin substitué à la manivelle motrice autrefois directement conduite à la main. Mais ce qui distingue particulièrement ce nouveau genre d'outils des anciens et puissants tours à guillocher, c'est que l'équipage à chariot y est dirigé, orienté d'une manière précise et géométrique, par une règle à coulisse graduée, une vis micrométrique et un cercle ou plateau diviseur, qui, sous la main d'un intelligent artiste, lui permettent d'occuper toutes les positions obliques ou symétriques par rapport à la matière qu'il s'agit d'attaquer, montée elle-même sur un tour ou porte-objet ordinaire, et par là découpée en creux ou en relief, d'après des combinaisons fort remarquables, mais également géométriques.

D'ailleurs, cet instrument, nommé, improprement peut-être, *tour anglais*, avait été précédé ou suivi de quelques autres appareils ou *chariots géométriques* analogues, proposés par J.-H. Ibbetson, en vue de graver, buriner légèrement, sur différentes matières, des figures en ovales, en conchoïdes, en épicycloïdes, etc., entrecoupées, recroisées de diverses manières, et qui rappellent celles obtenues autrefois sur le tour excentrique ou les instruments traceurs de Lacondamine, de Suardi (*plume géométrique*), etc., chariots, on doit le dire, entièrement dirigés à la main, et dont M. Ibbetson prétend avoir réalisé les combinaisons principales, de 1817 à 1820, pour s'opposer à la contrefaçon des billets de banque, mais qui, ayant été par lui communiquées en 1829 à MM. Holtzappfel et Cie, de Londres, auraient été ajoutées à leurs catalogues de tours d'amateurs.

Nous donnerons ici la description du mandrin excentrique d'Ibbetson dont nous trouvons la description dans un ouvrage.

Sur une plaque de cuivre suffisamment épaisse sont fixés, au moyen de vis, deux guides en acier (fig. 3748 et 3749) guidant le mouvement de glissement d'un chariot, susceptible de prendre un mouvement de rotation, maintenu d'ailleurs sur la plaque par un tenon que traverse une vis *k* qui le fait mouvoir à volonté et déter-

mine l'excentricité; *f* est une plaque circulaire sur la circonférence de laquelle sont taillées des dents, et qui pourrait tourner si elle n'était maintenue en place par un cliquet et le ressort *h*. Au centre est fixée la vis *g*, dont les filets servent à maintenir en place la pièce à travailler.



3748. 3749.

Le rayon du cercle que produit sur la pièce ainsi montée l'outil situé sur le support du tour passant par l'axe est la distance de cet axe au centre *g*, et leur succession dépend du mouvement du mandrin, succession en ligne droite si on fait agir la vis *d*, circulaire si on fait tourner *f*.

Si donc on établit ce mandrin tout à fait complet, c'est-à-dire de manière à pouvoir mesurer le mouvement de progression de la vis, dans toutes les directions, aussi bien que le nombre de degrés de rotation circulaire, on pourra obtenir un très-grand nombre de divisions, obtenir des figures variées par des successions, multiplier des intersections de cercle.

Enfin, on voit que si l'on fait tourner d'une manière continue la roue divisée, on obtiendra des courbes épicycloïdales.

Machines à graver. — L'Américain Perkins, à qui l'on doit, après Gengembre, les moyens de reproduction indéfinie des matrices en clichés en acier des billets de banque, devait se servir de quelque procédé analogue au tour anglais pour y graver des figures en lignes continues et recroisées, telles qu'on peut en obtenir sur le tour en guillochis; mais le caractère essentiellement géométrique de ces lignes plus ou moins déliées et d'une certaine étendue n'ayant pas semblé offrir une garantie absolue ou suffisante contre le talent d'imitation ou de reproduction de quelques dessinateurs exceptionnels, dont la main et le coup d'œil acquièrent, à la longue, un sentiment instinctif de la continuité et de la courbure des lignes, c'est précisément ce qui a donné à M. Grimpé et à d'autres artistes habiles l'idée des figures étoilées polygonales, à angles vifs et d'une petitesse microscopique, pour la fabrication des papiers de sûreté. Ce sont aussi ces figures, obtenues par des procédés et dans des degrés de précision divers, que le mécanicien Barrère, à Paris, depuis l'époque où s'ouvrit le concours relatif à cette fabrication, a tenté de produire d'une manière plus parfaite encore, sur la pierre lithographique et sur l'acier, à l'aide d'une charmante et délicate petite machine jusqu'ici inédite, mais dont les produits ont figuré à l'Exposition française de 1849, avec d'autres non moins remarquables, d'un caractère différent.

La machine de M. Barrère, ex-apprenti horloger à Toulouse, qui doit tout à lui-même et dont nous aurons souvent à citer les travaux, constitue, en effet, un véritable tour automate, dont l'arbre vertical, à fourreaux ou manchons emboîtés les uns dans les autres à diverses fins, porte, vers le bas, une aiguille de certrage très-déliée, et, vers le milieu de sa hauteur, des roues d'angle motrices que conduit un mécanisme d'horlogerie, à roues d'échappement et mentonnets de rencontre, trop complexe pour en donner ici même une simple idée, mais dont le but spécial est de mettre en action, par un renvoi de bascules et de tringles, les divers organes de la machine : tels sont, notamment, et les rosettes à fourreaux-enveloppes de l'arbre central, destinées à faire mouvoir extérieurement les touches, et les pantographes de réduction à ressorts-repoussoirs, qui font aller, à leur tour, les quatre aiguilles fixes à pointes diamantées et inclinées, traçant sur le vernis de la plaque d'acier ou cliché à graver autant d'étoiles microscopiques, groupées symétriquement autour de chacune des positions relatives et distinctes données à l'aiguille directrice ou centrale, je veux dire au mécanisme entier de l'équipage, susceptible de prendre automatiquement et successivement diverses positions parallèles aux côtés rectangulaires de cette même plaque immobile sur la plate-forme d'un tour ovale ou excentrique, munie, en outre, de diviseurs universels fonctionnant d'une manière également automatique.

L'ensemble de cette délicate machine, aussi bien conçue qu'exécutée, et dont les multiples combinaisons constituent un véritable tour de force mécanique, est le fruit de dix années de persévérants efforts pour la production de figures étoilées, de bordures régulières vraiment identiques, mais, par cela même, d'une imitation pour ainsi dire impossible. C'est, si l'on veut encore, le dernier mot d'une série d'ingénieuses tentatives pour améliorer le système des machines destinées à la gravure des billets d'échange ou de commerce, et dont M. Barrère avait, avec une louable perfection, précédemment fabriqué des modèles pour les graveurs des banques du Brésil, de Constantinople, de Madrid, etc.

On remarquera à ce sujet que le point de départ réel des anciennes machines à graver est dans l'appareil à châssis vertical rectangulaire, porte-plaque ou objet, doublement mobile dans des coulisses perpendiculaires entre elles, à orientations diverses autour de son centre, et dont les artistes tourneurs, Bergeron notamment, reportent la première idée aux académiciens de Lahire, de Lacondamine et Dufay, mais qu'ils nomment *machine carrée*, peut-être aussi parce que la plaque à buriner au guillochis, contenue par des vis de serrage dans un châssis en fer pareil à celui des formes d'imprimerie, est animé de ce double mouvement rectangulaire avec ce châssis en coffre, dont le fond plat peut, comme dans le tour à ovales, prendre diverses inclinaisons autour de l'axe d'une roue dentée et graduée, remplissant la fonction du cercle diviseur. Cette roue, ce châssis, sont, pour cette fin, montés sur un plateau vertical en bois, véritable chariot ou traîneau à coulisses horizontales, montées sur un second plateau lui-même à coulisses verticales, le long desquelles il est élevé, au moyen d'une vis à manivelle, traversant un chapeau supérieur, tandis que le précédent est soumis, d'une part, à l'action horizontale d'un ressort-repoussoir, d'une autre, à celle d'une touche à pointe mousse, qui, en s'appuyant contre les ondulations d'une réglette verticale parallèle au côté correspondant du chariot porte-châssis ou objet, imprime à celui ci, pendant son ascension, un mouvement horizontal oscillatoire en face de l'outil traceur ou burineur, monté sur un support à coulisse et vis de serrage, immobile au dessus d'un établi solide servant aussi de point d'appui à la machine

Ce lourd équipage, à double plateau vertical et glissant, d'ailleurs soulagé dans son ascension par un contre-poids à corde et poulie de renvoi, est, comme on voit, fondé sur le principe des anciens tours à

mandrin mobile et outil fixe. Employé autrefois principalement à guillocher les faces planes des tabatières, des boîtes de montre et objets similaires, il ne tarda pas à l'être à la gravure en taille-douce des planches de cuivre pour l'impression des étoffes peintes; gravure qui, née en France ou en Suisse, fut bientôt, comme on l'a vu encore, étendue, perfectionnée dans ses applications aux manufactures de l'Angleterre. Malheureusement la 2e édition du *Manuel* de Bergeron, publiée peu après l'époque où s'opérait une si utile transformation, ne contient sur ce sujet que des indications fort vagues, et tout à fait insuffisantes, dans les sections III et IV du chapitre VIII (p. 113 à 423), où, en donnant dans la planche 511 un spécimen de ce que, en 1816, l'on savait faire de mieux en ce genre au moyen du tour à guillochis et de la *machine carrée*, le texte nous apprend que l'auteur de cette planche, feu Collard, l'un des artistes guillocheurs les plus distingués d'alors, en avait obtenu des figures gravées directement sur le cuivre par des procédés divers, dont le plus remarquable était sans contredit celui de la figure 46, destinée à représenter deux têtes en bas-relief, au moyen de tailles, de traits également fins, ondulés suivant la forme et la saillie du modèle. Ce procédé, purement mécanique, est indiqué par Collard même en ces termes : « Le profil, figure 46 se fait sur la machine « carrée au moyen d'une vis de rappel adaptée au « porte-touche et divisée comme la vis de rappel du « support. En faisant avancer la touche sur une mé« daille mise en place de la règle et dans la même pro« portion que l'outil qui coupe, on peut couper en « taille-douce toute sorte de sujets. Non-seulement ce « moyen est propre à figurer le plan des sujets qu'il « représente, mais il a l'avantage de figurer les bas« reliefs par *l'illusion des effets de la lumière.* »

Il est évident qu'ici Collard entend parler d'une machine restée inédite, d'une constitution fort simple, dont l'outil et la touche marchaient automatiquement, et non pas de la machine carrée que Bergeron avait précédemment (1793 à 1796) décrite dans la première édition du *Manuel*. Cela, joint au peu d'encouragement commercial que ce genre de produits reçut avant ou après l'édition de 1816, explique comment la gravure en taille-douce d'après le relief, improprement nommée aujourd'hui *gravure numismatique*, est demeurée en oubli pendant plus de quinze années, au bout desquelles l'apathie du public et des artistes fut enfin stimulée chez nous par le succès des Américains et des Anglais dans ce nouvel art, qui, sauf le perfectionnement des outils et du mécanisme des machines, ne paraît pas avoir subi des modifications bien essentielles.

Quant à l'ancienne et soi-disant machine carrée, réduite au simple rôle de buriner des lignes droites ou ondulées sur des plaques de cuivre, elle ne pouvait être préférée par les graveurs en taille-douce à l'ingénieux et léger instrument imaginé en 1805 par Conté, réalisé par Gallet, pour l'exécution des planches du grand ouvrage sur l'Égypte, dont les ciels, les eaux, les faces de monuments, exigeaient le tracé d'une multitude de lignes droites ou ondulées équidistantes, à écartements et finesse gradués; instrument constitué d'une simple équerre en cuivre à deux branches, dont l'une, dirigée par une vis à cadran et aiguille micrométrique, marche parallèlement à l'un des côtés de la table, tandis que l'autre chemine perpendiculairement, munie d'un chariot à coulisses portant, selon les cas, ou le diamant pour enlever légèrement le vernis à la surface de la planche exactement maintenue, ou la pointe sèche à ressort pousseur pour entamer le métal à la profondeur voulue, ou enfin la molette à lignes ondulées, bientôt remplacée à moins de frais par une réglette en cuivre servant à diriger le porte-outil du chariot; réglette aujourd'hui fabriquée expéditivement et avec beaucoup de précision au moyen d'une petite machine automatique, tout au moins perfectionnée par M. Barrère, et dont la fraise et le porte-outil tournant exécutent des révolutions très-rapides en face de plusieurs de ces lames superposées, serrées entre les mâchoires d'un chariot à coulisses mené, horizontalement et transversalement à la fraise, par une longue vis, dont l'exécution a besoin d'être parfaite pour la succession régulière et identique des diverses branches sinusoïdes des lames, variables à l'infini de forme et de proportion, au moyen d'un compteur servant à régler les avancements du chariot, etc.

Je n'ai parlé ici des machines à diviser les instruments de physique que pour faire mieux apprécier le caractère de précision que M. Perreaux a su apporter à sa machine à graver de l'Imprimerie impériale, dont il a aussi disposé le mécanisme de manière à pouvoir, au besoin, obtenir très-facilement, par le tracé de l'outil mobile, la représentation, en plans, des bas-reliefs, que d'autres avaient depuis longtemps tentée avec succès d'après l'ingénieux système de Collard. Ce système, de même que l'instrument traceur de Conté et ses dérivés immédiats, ne constituaient pas en eux-mêmes des machines automatiques, et il faut remonter à l'époque de 1830 à 1832 pour les États-Unis d'Amérique ou l'Angleterre, et à celle de 1833 à 1834 pour la France, afin de retrouver la trace, si longtemps perdue, des anciens travaux de Collard; travaux que M. Collas, l'un des plus ingénieux artistes tourneurs de Paris, a remis en honneur chez nous dans l'importante publication du *Trésor de numismatique*, ouvrage où les médailles sont imitées par la taille-douce avec une vérité d'expression, une dégradation de nuances et de tons généralement admirées des amateurs, qui, s'attachant exclusivement au résultat final et artistique, s'inquiètent assez peu de savoir si les figures tracées au diamant ont reçu, après coup, des retouches au burin, des applications d'ombres par l'approfondissement de certains traits à l'eau-forte, ni même si elles n'ont pas subi une légère déformation résultant du déplacement général des saillies du relief, de la droite vers la gauche, ou de la gauche vers la droite, etc., selon le sens même dans lequel s'effectue l'opération mécanique qui, en réalité, consiste en un rabattement de diverses tranches parallèles du relief ou profils perpendiculaires au fond plan de la médaille. Dans toutes les machines en usage, celle-ci, marchant parallèlement à elle-même et de quantités égales sous l'action intermittente d'une vis à pas micrométrique, est, en effet, parcourue à chaque fois, transversalement et rectilignement, par une touche à pointe mousse et ressort pousseur, dont les alternatives d'abaissement ou d'élévation, le long du relief, mettent en jeu un système de tringles, de bascules à leviers coudés oscillant, tournant autour de leurs axes d'appui respectifs; alternatives elles-mêmes transmises au porte-fourreau du burin, à pointe diamantée traçante, placé à l'autre bout de l'appareil, où il décrit une série correspondante de lignes ondulées sur la planche à graver, qui, à son tour, marche parallèlement, de quantités rigoureusement égales aux précédentes et subordonnées à la marche même de la vis micrométrique principale, à déclic et rochet, dont les propres alternatives sont mises en harmonie avec le va-et-vient du chariot porte-touche.

Dans le système anglais qu'indique l'ouvrage si connu de M. Babbage, la médaille et le cuivre à graver, mus toujours et respectivement de quantités égales et parallèles, étaient placés dans des plans différents, rectangulaires entre eux, et l'opticien John Bate, de Londres, s'était, à ce qu'il paraît, dès 1831, créé une méthode pour éviter les inconvénients résultant d'une

trop grande saillie du relief. Mais, d'après le peu qu'en dit le savant professeur de l'université de Cambridge, rien ne prouve qu'il s'agit là d'autre chose que d'un procédé restreint de correction obtenue par un tâtonnement tel que l'expérience en suggère aux artistes habiles, et ressortant des moyens mêmes fournis par la marche de l'outil ou de la touche à inclinaison variable dans cette sorte de machine. Ce qui tendrait à le prouver, c'est, d'une part, que M. Freebairn a publié en 1840, c'est-à-dire huit ans après l'apparition de l'ouvrage ci-dessus, une grande carte topographique représentant le relief des Pyrénées, et qui, exécutée d'après les procédés de M. Bate, paraît offrir encore partiellement le caractère de déformation dont il vient d'être parlé; d'autre part, c'est que M. Babbage n'a pas cru superflu d'indiquer un moyen d'atténuer, dans un rapport variable, les trop grandes saillies du relief ou des tranches rabattues, tout en insistant sur d'autres modes de représentation, qui consistent, soit dans un système à pantographe où la largeur des traits, l'enfoncement du burin, varieraient proportionnellement aux saillies du modèle, soit dans la reproduction du relief, au moyen de tranches planes horizontales et équidistantes, d'après le principe des ingénieurs topographes.

Toutefois, il semble qu'on obtiendrait plus de chances encore de succès, si l'on substituait au système des tranches horizontales, dont il vient d'être parlé, la projection, sur le plan qui sert de base au relief, de tranches également équidistantes, mais inclinées toutes, d'un même angle approprié à la saillie et à la nature des objets. Sauf, en effet, les difficultés d'exécution mécanique, les résultats d'une telle méthode, déjà anciennement soumise à des essais purement graphiques par un ingénieux et savant professeur des dessin aux Écoles de services publics, M. Bardin, de tels résultats seraient particulièrement aptes à représenter les ondulations du relief des corps, en évitant cette déformation, ce déplacement apparent du leur ensemble, qui, pour les médailles à saillies un peu prononcées, mais surtout pour les objets d'ornement à formes régulières ou mathématiques, devient intolérable dans le système ordinaire de la gravure dite numismatique, où le resserrement naturel des lignes du dessin dans la descente de la touche, et leur écartement dans son ascension sur les parties en relief, donnent lieu à une opposition naturelle d'ombre et de lumière d'un effet vraiment merveilleux, mais qui ne se reproduirait plus aussi bien pour la projection orthogonale de tranches planes obliques.

Quant à la machine réalisée en 1833 par M. Collas (voir GRAVURE), elle se distingue des précédentes à plans rectangulaires en ce que le bas-relief et la planche à graver sont mobiles aussi parallèlement, de sens contraires, sur un plan horizontal formant le dessus d'une table solide surmontée de la barre à coulisse fixe, dont le chariot à va-et-vient entraîne parallèlement les équipages de la touche et du burin; ce qui amène, pour tous les cas, une très-grande simplification dans le jeu des divers organes mis en action, d'un côté par une manivelle, d'un autre, par l'appareil à rochet et division conduit à la main. Cette machine comporte d'ailleurs des moyens non moins simples de soulever le poinçon aux retours du chariot, et de faire varier, entre certaines limites, et l'inclinaison de porte-touche ou des tranches planes du relief, et la proportion des saillies ou ordonnées de ces tranches par rapport à celles qui les représentent sur le dessin : un simple déplacement des porte-touche et burin sur le levier à bascule qui règle les excursions permet ainsi de changer à volonté le mode de représentation du relief par le rabattement, le transport parallèle de ses tranches.

D'un autre côté, M. Barrère, l'habile mécanicien dont j'ai plusieurs fois parlé, adoptant, il y a près de quinze ans, le système ancien à deux plans rectangulaires conduits, parallèlement à leur intersection commune, par des vis à action intermittente, graduelle et solidaire, l'un, horizontal, portant la planche ou le marbre à graver, l'autre, vertical, portant la médaille ou sa copie, M. Barrère, dis-je, imitant en cela le système des petites planeuses de Whitworth à fourche oscillante que conduit un bouton de manivelle à curseur, imprime, au chariot à coulisses horizontales soutenant à la fois la touche et le burin, un retour accéléré qui produit une notable économie de temps et s'applique, de même, au va-et-vient parallèle du chariot à coulisse et porte-planche inférieur, par une seconde tringle ou bielle, dont l'articulation, fixée plus près ou plus loin du centre d'oscillations de la fourche, permet de faire varier, dans un rapport donné, l'étendue relative de la course de ces deux chariots, et par conséquent la grandeur même des réductions qu'on n'obtenait auparavant qu'à l'aide d'une réduction préalable des médailles par les moyens qui seront indiqués ci-après.

Ajoutons que le chariot porte-touche et outil est surmonté de deux volets à charnières et à ressorts-repoussoirs, dont les châssis mobiles, liés entre eux parallélogrammiquement, reçoivent séparément, à leurs traverses supérieures, la touche et le burin, également susceptibles de diverses inclinaisons pour le refouillement des creux, mais incapables, d'après la nature du système, d'apporter aucun changement appréciable dans le mode de représentation des tranches planes du relief. Néanmoins, ici encore la saillie de ces tranches peut être réduite sur la dessin, dans un rapport arbitraire, par le rapprochement du porte-touche à l'égard de la charnière de rotation; rapprochement indispensable dans la machine Barrère, quand il s'agit d'opérer la réduction même des médailles sur la planche à graver.

En se reportant à ce qui a été dit ci-dessus des avantages géométriques inhérents à la projection rectangulaire d'un système de sections obliques et équidistantes, qu'on obtiendrait sur le relief en inclinant, d'un angle invariable convenablement fixé pour chaque cas, soit le plan même de la médaille, s'il s'agit de la machine Barrère, soit la direction propre de l'axe du porte-touche, s'il s'agit de la tige conductrice à leviers coudés de la machine Collas, il est facile d'apercevoir comment le moyen de réduction dont il vient d'être parlé en dernier lieu pourrait faire obtenir, sur le plan même du dessin ou du cuivre à graver, non le rabattement, mais cette projection exacte des tranches obliques du modèle, dont on diminuerait les saillies ou ordonnées respectives dans la proportion constante de l'unité au cosinus de leur angle d'inclinaison sur le plan du bas-relief. Or, on arriverait à ce résultat par des modifications très-simples apportées au jeu de l'une ou de l'autre des machines ci-dessus, sans que pour cela, évidemment, il soit nécessaire de rien changer au mode ni à l'égalité des avancements parallèles des deux plans sous l'action intermittente et simultanée de leurs vis, poulies ou chaînes conductrices, non plus qu'aux oscillations transversales du porte-outil et du porte-touche. Il y a plus, au lieu de recourir à la réduction des ordonnées, ou déplacements obliques de la touche d'après la proportion du cosinus, on pourrait terminer l'extrémité postérieure de l'équipage de cette touche par un talon ou retour rectiligne, dirigé perpendiculairement au plan du bas-relief, et qui imprimerait à une tige parallèle à ce même plan un mouvement ondulatoire dont les excursions seraient répétées par l'outil au moyen d'un mécanisme approprié à la nature de la machine.

En terminant ce qui concerne ce sujet, dont l'im-

portance, au point de vue géométrique et artistique, ne saurait être mise en doute, je ferai observer que, dans la machine Collas, l'inclinaison à 45° du porte-touche sur le plan horizontal du relief est aussi susceptible de donner une projection exacte des tranches correspondantes; ce qu'explique la nature particulière de l'appareil, dans lequel les excursions de la touche sont transmises au burin par une triangle munie de deux leviers égaux et coudés à angles droits. Pour toute autre inclinaison du porte-touche, la proportion de la saillie des tranches à celle des rabattements est altérée dans un rapport invariable, il est vrai, mais différent de celui de l'unité en cosinus de l'angle de cette inclinaison; et c'est ce qui avait lieu aussi, à ce qu'il paraît, dans la machine de Bate, où la transmission des déplacements de la touche au burin se faisait par des combinaisons fondées principalement sur un système de poulies et de cordons ou chaînettes de renvoi.

Enfin, je ne saurais passer sous silence une autre petite et élégante machine à deux pointes diamantées, servant, à volonté, à graver sur pierre ou sur cuivre des lignes parallèles droites ou ondulées, des figures de médailles, des bordures à entrecoupements microscopiques, etc., due au talent inventif de M. Barrère : elle offre une remarquable simplification de ses conceptions antérieures relatives à la gravure des billets de banque, et, à ce titre comme à celui de la facilité de conduite, du bas prix et de l'excellente exécution, elle paraît aujourd'hui assez généralement adoptée par les lithographes et les graveurs en France et à l'étranger, à qui elle rend les plus grands services.

Pour la caractériser en deux mots, il me suffira de dire que le corps de cette machine, établi au-dessus du mandrin horizontal d'un tour, rendu à volonté fixe, ovale ou excentrique, comprend la planche ordinaire à chariot vertical, porte-modèle ou bas-relief, le chariot porte-touche et outil, ainsi que leurs équipages accessoires ou moteurs, le tout monté sur des rails à coulisses transversales fixes, et accompagné latéralement d'un petit équipage à roues dentées de rechange, faisant mouvoir horizontalement, au sommet, un bouton d'excentrique, qui, au moyen d'un système de tringles et de bascules de renvoi, transmet à l'équipage même du porte-outil le mouvement oscillatoire destiné à produire les vignettes, etc.

Tours à portraits. — Machines à sculpter. — La gravure dite numismatique, sur laquelle nous avons beaucoup insisté à cause de la célébrité qui lui a été justement acquise par les travaux de l'ingénieux M. Collas, plus intelligent et habile artiste encore que mécanicien et constructeur, ce genre de gravure nous ramène forcément au tour automate à portraits de l'*Encyclopédie*. Or, il est à remarquer qu'à l'époque de 1772, et postérieurement encore, son emploi offrait de grandes imperfections, tant à cause des difficultés du pointage rigoureux de la touche et du poinçon burineur, par rapport aux centres de rotation des médailles en coïncidence exacte avec l'axe mathématique commun aux mandrins opposés du tour, qu'en raison de la surveillance continuelle exigée de la part d'un ouvrier intelligent, habile même, pour faire avancer graduellement, à l'aide d'une vis micrométrique, le taillant de l'outil, qui, malgré tous ses soins, laissait sur les médailles une suite d'empreintes, d'inégalités spirales, qu'on ne pouvait faire disparaître qu'après coup, au moyen d'un rodage à la brosse et de retouches qui ne sont pas sans exemple, aujourd'hui encore, dans les tours perfectionnés de cette espèce. Ces derniers tours, d'ailleurs, s'ils n'ont plus l'inconvénient de ne fournir que la contre-épreuve des coins et médailles comme les machines allemandes, en conservent d'autres assez fâcheux au point de vue artistique, mais nonobstant lesquels ils continuent, bien plus qu'on ne se l'imagine ordinairement, à être employés dans les ateliers monétaires, tout au moins pour la reproduction, réduite ou amplifiée et en ébauche, du burin de nos plus célèbres artistes.

Je ne m'étendrai pas ici sur l'ancien tour à portraits de Lacondamine, qui ne peut guère servir qu'à tracer isolément et linéairement des figures planes au moyen de platines, de rosettes cylindriques, biaises ou droites, si ce n'est pour faire remarquer que ce tour constitue véritablement par lui-même une machine à outil automate, qui, d'après la combinaison de ses rouages et la rotation distincte des deux figures dans un même plan, a pu conduire au tour moderne à réduire les médailles, le même que Hamelin-Bergeron attribue, on ne sait trop pourquoi, au fils du célèbre P.-C. Hulot qui laissa inachevé l'*Art du tourneur mécanicien*, dont, comme on l'a vu, la première partie seulement fut publiée en 1776 par l'Académie des sciences, tandis que le fils, attiré en Angleterre par Georges III, vers 1766, en aurait reçu la commande d'un tour à guillocher et d'un tour à portraits, dont, s'il avait vécu, Hulot père nous eût entretenus dans la seconde partie de son Traité. Ainsi c'est dans le *Manuel* de Bergeron encore qu'il faut aller puiser des notions un peu certaines sur cette dernière machine, où la médaille et sa copie étaient non plus simplement montées, comme dans celle de Martin Teubers, etc., aux bouts d'un arbre de tour à deux mandrins, mais bien disposées dans un même plan vertical, perpendiculairement aux extrémités de deux arbres horizontaux parallèles, conduits par un troisième arbre transversal à double engrenage sans fin et situés à la hauteur et en face d'une forte barre de fer qui, horizontale dans sa position moyenne, sert de guide, de soutien, à la touche et au burin. Ceux-ci, montés horizontalement sur des poupées ou supports curseurs à vis de serrage et de centrage, sont fixés sur la barre mobile, comme les arbres mêmes du tour sur leurs traverses supérieures horizontales, dans des positions dépendantes de la grandeur des réductions à opérer, grandeur elle-même évidemment variable en raison des distances respectives de l'outil et de la touche par rapport à la charnière de rotation de la barre, articulée doublement, au moyen d'un genou à la Cardan, avec un arbre-support, parallèle à ceux des mandrins et situé à l'extrémité gauche de la machine. D'un autre côté, cette barre tournante, soumise à l'action d'un ressort d'acier qui tend à presser simultanément le burin et le porte-touche contre les reliefs respectifs des médailles animées d'un mouvement égal et uniforme de rotation, s'abaisse lentement et graduellement vers l'extrémité opposée à sa charnière, où elle est munie, parallèlement à sa direction, d'une couple de petits rouleaux d'acier entre lesquels passe une cheville horizontale qui leur sert de guide et de soutien pendant la descente de la barre seulement. Enfin, cette cheville elle-même est liée à un écrou, à coulisses latérales fixées au bâti, mobile le long d'une vis verticale dont l'arbre, de direction invariable, est conduit par un système de vis sans fin et d'engrenages extérieurs qui empruntent leur mouvement propre à l'arbre du mandrin porte-modèle, et, par suite, au système à volant, poulies et cordons sans fin, servant de moteur à toute la machine rendue ainsi parfaitement automatique.

Il n'est pas hors de propos de rappeler ici que l'admirable machine de Hulot fils, dont la date, au dire de Bergeron, serait antérieure à 1766, a été exécutée en fer, sans changement notable, mais sous de fortes proportions, pour le Conservatoire impérial des arts et métiers, qui depuis l'apparition de la 2me édition du *Manuel du tourneur*, en 1816, on a commandé la ma-

 TOURS COMPOSÉS.

dèle à l'habile M. Collas, auquel sont dues de nouvelles applications de la machine à la reproduction, amplifiée ou réduite, des bas-reliefs sur des matières tendres et plastiques, par des procédés dont il sera parlé ci après, et qui ont exigé des modifications essentielles dans le système de la barre porte-touche et outil, système par trop rigide pour des matières de cette espèce. D'ailleurs, si le tour à deux arbres de Hulot offre l'avantage de faire éviter le changement du creux en relief, ou réciproquement, il présente, en revanche, l'inconvénient que la touche et le taillant n'y marchent plus rectilignement, mais bien sur des arcs de cercle partant de chacun des centres de médailles, et dont la courbure, à la vérité peu appréciable pour de faibles diamètres, ne permet pas de renverser le sens de la rotation de l'un des mandrins, afin d'obtenir la contre-partie du profil de la médaille à copier, sans amener des altérations plus ou moins sensibles, dues au déplacement angulaire relatif des spirales tracées par la touche et le burin, sorte de distorsion qui croît avec leur éloignement des centres respectifs de rotation. D'un autre côté, les difficultés du centrage des médailles étaient restées les mêmes que dans l'ancien tour allemand; et si le mécanisme de la barre porte-outil permettait de régler à volonté la saillie proportionnelle du relief de la copie, au moyen d'une petite tringle latérale à vis de réglage ajustée sur cette barre et conduisant la tête de l'outil dans une position telle que la ligne droite qui l'unit à celle de la touche eût l'inclinaison jugée nécessaire sur le plan vertical commun aux deux médailles, il n'en est pas moins vrai que, d'une part, l'égalité, l'invariabilité, à tous les instants, de la vitesse angulaire des arbres de mandrins, d'où résultaient des inégalités considérables dans la vitesse même de travail du burin aux diverses distances du centre; d'une autre, la rapidité trop grande de la descente de la barre; enfin le prompt échauffement de l'outil en acier, travaillant pour ainsi dire à sec, et par conséquent susceptible de s'user, de se détremper promptement, ces différentes causes, dis-je, amenaient des difficultés, des défauts d'exécution très-fâcheux, et qu'on n'évitait que bien imparfaitement en recourant à des passes successives, à des affûtages et remontages répétés de l'outil; nouvelles sources de pertes de temps et de déformations qui ne permettaient pas aux artistes de considérer les résultats comme autre chose que des ébauches en elles-mêmes peu satisfaisantes, et impropres à servir de coins pour le frappage des monnaies ou des médailles.

Parmi les perfectionnements qu'ont subis les tours à portraits, il en est un surtout de la plus haute importance, et qui en a fait tripler, quadrupler les produits: c'est celui par lequel on a remplacé l'ancien burin à pointe d'acier fixe par une fraise à rotation rapide, dont quelques personnes attribuent la première application, en 1816, à un sieur Poterat, de Paris, comme aussi elles accordent à M. Contamin l'invention du procédé par lequel la mobilité de la touche et du burin le long de la barre directrice corrige les défauts qu'on observait dans l'ancien système lorsqu'on voulait obtenir, sans altération sensible, le retournement symétrique de la figure, de la gauche à la droite, ou son contre-profil, en faisant tourner les mandrins en sens opposé. Mais quels que soient les avantages de ce dernier procédé, qui valut au tour à portraits de M. Contamin les honneurs de l'Exposition de 1839 et une utile application à la monnaie de Munich, leur importance et leur mérite ne sauraient être comparés à ceux des perfectionnements divers que M. Collas, vers la même époque, et M. Barrère, postérieurement, ont introduits dans le mécanisme des machines à portraits. Malheureusement, ces perfectionnements ne se trouvant décrits nulle part, il règne, à leur sujet, une sorte de doute ou de mystère dont les estimables travaux de Gambey, de Grimpé et de plusieurs autres artistes habiles ont offert des exemples d'autant plus fâcheux, que ces travaux, en leur supposant une supériorité mécanique incontestable, seront à peu près perdus pour l'avancement et le progrès industriel de notre pays.

A l'égard du tour Contamin en particulier, il faut se contenter de savoir, d'après M. Amédée Durant, que l'outil et la touche possédaient, sur la barre, des mouvements qui leur étaient propres, et dont les arcs respectifs avaient des *centres différents*; la touche étant d'ailleurs montée sur un manchon à poupée, glissant le long de la barre, de manière à décrire un arc de cercle opposé à celui que parcourt le porte-outil.

La modification la plus importante apportée par M. Collas à l'ancien tour à portraits de Hulot consiste, sans contredit, dans l'application, déjà mentionnée ci-dessus, qu'il en a faite à la réduction ou à l'amplification même des bas-reliefs ou médaillons de grandes dimensions, en matière plastique destinée à des moulages ultérieurs. Cette application, en effet, a conduit notre honorable et modeste artiste à allonger notablement la barre porte-touche et outil du tour Hulot, à la rejeter en dehors de l'établi, à une distance variable avec l'épaisseur du modèle et de la copie; ce qui permet d'abaisser à volonté le chiffre de la réduction, et doit s'entendre également du mécanisme à vis sans fin, etc., qui règle le mouvement de cette barre. D'un autre côté, l'arbre horizontal à manchons filetés qui mène les deux roues taraudées des mandrins verticaux se trouve ici placé au sommet de ces roues, de manière à retenir constamment l'huile qui sert à en lubrifier les dentures. Enfin M. Collas, dont les premiers travaux en ce genre remonteraient à 1835, a su appliquer au système de la touche et de l'outil un mécanisme en vertu duquel ils décrivent non plus des arcs de cercle concentriques, mais bien des parallèles verticales, quand il s'agit de contre-profils d'une certaine dimension, et tout cela sans ôter à l'ensemble du tour son caractère automatique primitif, attendu que les modèles, reproduits au besoin en plâtre, etc., sont capables de résister à la pression douce et élastique de la touche qui détermine les déviations horizontales de l'outil.

Quant à M. Barrère, il s'est plus particulièrement attaché à modifier le tour à portraits, de manière à le rendre apte non plus simplement à ébaucher, mais à finir entièrement, et sans retouches subséquentes, les coins d'acier et les médaillons ou camées en pierres dures, telles que l'agate et la cornaline, dont ce mécanicien a offert, à l'Exposition française de 1848, des échantillons fort admirés du public, lesquels lui ont valu les éloges mérités du jury et des nombreux artistes graveurs de timbres ou de médailles, qui n'ont pas cessé depuis de recourir à l'usage expéditif de ses machines toutes les fois qu'il est devenu nécessaire d'obtenir des réductions d'une perfection suffisante quoique sans retouches.

Non-seulement M. Barrère a substitué aux anciens burins fixes, en acier trempé, des burins en diamant montés d'après le procédé qui lui est propre (centrés dans l'instrument, dans la masse du métal); non-seulement il a pu les faire tourner sur leur axe avec une vitesse qui s'élève de deux à trois mille tours par minute, en les maintenant, ainsi que leur boîte à pivot supérieur, constamment baignés dans un liquide rafraîchissant, sans lequel le diamant lui-même se briserait en éclats; mais de plus, il a disposé les choses de manière que les vitesses angulaires des mandrins et de la barre porte-touche et outil décroissent en raison réciproque du rayon des diverses branches spirales, dont la finesse et le rapprochement offrant une conti-

nuité, un caractère microscopique qui expliquent la perfection des produits, en même temps que l'extrême vitesse rotatoire imprimée au diamant explique, malgré le ralentissement graduel de la vitesse des mandrins, l'accélération du travail dans une proportion au moins triple de ce qui avait lieu auparavant, en un mot telle qu'il devient possible de terminer automatiquement, ou sans aide étranger, le coin d'une petite médaille dans un intervalle de quinze à vingt heures au plus.

La machine qui produit de tels résultats mériterait bien, à cause de l'originalité de ses combinaisons, d'être décrite avec le plus grand soin, et l'on peut, à juste raison, s'étonner que cela n'ait point eu lieu jusqu'ici. Il me suffira de dire que les arbres de mandrins, au lieu de la position horizontale ordinairement adoptée pour le tour à portraits, sont disposés verticalement et mus par un équipage de roues et de vis sans fin inférieur, qui offre un moyen de débrayage ingénieux pour changer le sens de la rotation du modèle, lorsqu'il s'agit d'en obtenir le contre-profil; que la vitesse angulaire des mêmes arbres de mandrins est rendue variable dans les conditions ci-dessus, au moyen d'une couple de cônes alternes ou différentiels à courroie sans fin, conduite par une griffe dont la position varie solidairement avec celle de la barre directrice de la touche et du burin; que cette barre est mobile dans un plan horizontal au-dessus du plan supérieur et parallèle de l'établi, affleuré par les mandrins des médailles; ce qui offre de grandes facilités pour le centrage, et la faculté de maintenir le mandrin à rebord de la pièce à buriner constamment recouvert d'huile; que cette même barre, articulée doublement à son pivot, l'est aussi, à l'extrémité opposée, avec deux petites pièces transversales agissant horizontalement de chacun des côtés de sa direction, de manière que l'une, à libre pivotement vers son bout extérieur, tend à la soulager d'une portion arbitraire de son poids par un ressort transversal inférieur fixe, tandis que l'autre, véritable arbre tournant, est conduit par un engrenage sans fin, à vis et écrou micrométriques, dont la rotation et la translation excessivement lentes, mises en rapport avec la rotation propre des mandrins ou des cônes alternes, sert à imprimer à la barre de guide supérieure le mouvement horizontal, circulaire et concentrique, qui écarte progressivement la touche et le burin des centres respectifs de leurs médailles, etc.

Serait-il vrai que la disposition horizontale des mandrins du tour à portraits, ici impérieusement exigée pour le rafraîchissement perpétuel de l'outil, eût déjà fort anciennement été mise en usage par feu Dupeyrat, graveur et guillocheur à Charenton près Paris, qui, vers 1830, inventa pour les billets de banque les timbres *coïncidents*, au sujet desquels il obtint les éloges de la Société d'encouragement? Cela paraît d'autant plus difficile à vérifier que les procédés mécaniques de ce graveur ont été tenus secrets, comme ceux de tant d'autres artistes français éminents. Quant à l'usage que l'on a pu faire de cette même horizontalité des mandrins pour imprimer simultanément la rotation au modèle et à la copie en ronde bosse à sculpter, il n'a avec le tour de M. Barrère qu'un rapport fort indirect, et sur lequel il serait d'autant moins nécessaire d'insister que les outils y remplissent un rôle tout différent, étant conduits par des systèmes de tringles à mouvements parallélogrammiques, dans le genre de ceux des machines à dessiner ou à graver.

M. Babbage nous apprend, dans le livre déjà cité (p. 132 et 133), que James Watt s'amusa, il y a fort longtemps, à construire une pareille machine, demeurée inédite, et que, antérieurement à l'année 1832, l'Anglais Hawkins en aurait inventé une autre qui, entre les mains d'un artiste de Londres, a servi à faire les copies en ivoire d'un grand nombre de bustes. De semblables moyens de reproduction ou de réduction ont été également tentés aux États-Unis d'Amérique et en France à une date postérieure. Je me contenterai de citer, comme étant des plus connus, ceux inventés ou perfectionnés dans notre pays par M. Sauvage (mai 1836, 1840 et 1844), par M. Dutel (novembre 1836 et 1844), par M. Colles (mars 1837 et 1844), enfin par M. Alexandre Contzen, successeur de M. Dutel, en 1844, pour la copie, en ébauche, des grandes statues de marbre. Les moyens automatiques notamment employés par M. Collas pour opérer, sur le tour à portraits de Hulot, la réduction et l'amplification des médaillons et bas-reliefs; ses procédés, d'un genre différent, pour réduire les bustes et les statues de rondes bosses destinés au moulage en bronze; ces moyens ou procédés en particulier ont obtenu, tant par les travaux de cet artiste que par l'intelligente et consciencieuse coopération de son associé M. Barbedienne, un assez grand succès commercial pour qu'il ne soit pas superflu de le rappeler ici, en faisant observer toutefois que la forme de certains modèles se prête difficilement à l'application des procédés mécaniques sans démontage des parties, les bras, les jambes, etc. En outre, il ne faut pas oublier qu'il s'agit là d'un sculptage mécanique appliqué à des matières plastiques, telles que le plâtre, l'argile, le savon, la craie, servant ensuite de modèles pour le moulage du plâtre même, de la fonte de fer, du zinc et du bronze; modèles qui, en raison de leur perfectionnement et de leur bon marché relatifs, ont rendu des services réels aux arts, en mettant à la portée du grand nombre des copies de chefs-d'œuvre propres à répandre et développer le goût du beau, en se substituant, dans les objets d'ameublement, à de pâles et médiocres copies de l'antique.

Quant à l'art de sculpter la pierre et le bois en général, peut-être serait-ce une illusion de croire que l'on possède aujourd'hui même des procédés mécaniques vraiment satisfaisants, et propres à exécuter autre chose que des ornements d'architecture, quelques bas-reliefs très-simples, etc., etc. On a, il est vrai, des moyens expéditifs d'ébaucher, copier et réduire même les grandes statues de marbre à l'aide de fraises ou forets à rotation rapide, dont l'enfoncement, les positions successives, sont réglés d'après les formes, les proportions du modèle, sur lequel la main de l'artiste ou le mécanisme même de la machine, comme l'a tenté en 1844 M. Contzen, promène délicatement une touche à pointe mousse, liée aux articulations d'une ingénieuse combinaison de pantographes articulés, mobiles dans les trois dimensions du relief, au moyen d'un genou à la Cardan, et qui servent à diriger, à l'autre extrémité de l'appareil, le porte-foret ou burin, non sans donner lieu, il est vrai, à de légères altérations de forme provenant de la vibration, du fléchissement des tiges du pantographe, et telles qu'on en observe pour le tracé des figures sur un plan parfaitement uni, notamment dans le cas de la ligne droite.

On se rappelle les tentatives, déjà anciennes et assez peu fructueuses, faites par divers ingénieurs ou artistes distingués, notamment par Philippe de Girard (1830), par M. Grimpé (1839) et par MM. Barros et Decoster (1848), pour sculpter, fabriquer des bois de fusil, des bas-reliefs ou autres objets similaires, au moyen de gouges, de fraises tournantes conduites automatiquement par des gabarits, des patrons en fonte ou d'autres bas-reliefs découpés ou non à jour, et servant, comme dans les tours à guillocher ou à portraits, de repoussoirs à un équipage de porte-touches coniques, annulaires, etc., muni, ainsi que le porte-outil, de ressorts, de moyens d'avance convenables et également susceptibles, dans certains cas, d'être dirigés par des pantographes de réduction, analogues

à ceux employés par MM. Sauvage, Collas, Dutel, etc. Il serait fort inutile de rechercher la cause du faible succès commercial de ce genre de machines ailleurs que dans la complication même des procédés ou la difficulté de surveiller, faire fonctionner rapidement et d'une manière durable un équipage multiple d'outils en acier, fût-ce dans le bois le plus tendre, sans les voir se détériorer promptement, et sans être obligé par conséquent à un entretien, à des pertes de temps très-onéreux si l'on ne veut pas se contenter de produits grossièrement ébauchés, tels qu'en donneront toujours des fraises tournantes coupant les fibres du bois dans tous les sens et non sous l'inclinaison, la vitesse et l'intermittence d'action les plus favorables, qui se font remarquer dans les instruments à main et certains outils automates.

Tout en applaudissant aux efforts ingénieux tentés à cet égard par M. Decoster dans les machines publiées récemment en son nom et en celui de l'ingénieur portugais M. de Barros, machines qui forment comme le complément de celles de leurs nombreux prédécesseurs, il n'en est pas moins regrettable que l'on en soit encore réduit à de simples conjectures relativement aux procédés mécaniques de sculpture de Philippe de Girard et autres.

Nous donnerons, en terminant, un *tour pour tourner des formes irrégulières par M. Blanchard* (de Boston) (fig. 3750). Cette machine permet de tirer d'un bloc

3750.

de bois une forme simple exactement semblable à celle d'un modèle donné. Le modèle et le bois sont montés sur un même axe mis en mouvement par une courroie (cachée en partie sur la figure). Sur le banc du tour sont montés trois supports portant les coussinets qui guident l'axe des roues servant à couper et à *frotter*. La roue coupante, qui a environ 30 centimètres de diamètre, porte à sa circonférence une succession de taillants en forme de gouge. Cette roue est appliquée sur le bloc dégrossi. La roue de friction, qui a le même diamètre que la roue coupante, appuie contre le modèle. A l'axe de ces roues est fixée une poulie mue par une courroie qui passe sur un gros tambour. C'est ce tambour qui reçoit l'action du moteur, et c'est au moyen de roues dentées et d'une vis que l'on donne à l'axe porte-roues un mouvement continu de progression.

Le modèle et le bloc s'approchent ou s'éloignent des roues, en raison des inégalités de la surface, grâce à la manière dont ils sont supportés dans un châssis tournant autour de deux pivots, et après un temps suffisant on obtient un solide tout à fait semblable au modèle donné.

C'est en perfectionnant cet appareil, en faisant mouvoir le modèle et le bloc sur des axes différents que M. Blanchard est parvenu à la machine qui a été admirée à l'Exposition de 1855, avec laquelle il exécutait avec une rapidité remarquable la réduction des bustes sur bois, ivoire et même sur marbre.

TULLE. Le haut prix de la dentelle, résultant de la lenteur du travail qu'exige sa fabrication pour former chaque boucle en entourant à l'aide de fils enroulés sur de petites bobines, l'épingle fichée dans un coussin qui indique la place de cette boucle, devait faire rechercher à la fabriquer à l'aide de machines.

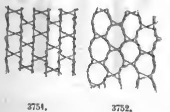
La première tentative pour y parvenir paraît avoir été faite vers l'année 1768 par un fabricant de bas de Nottingham, nommé Hamond. L'idée lui vint, étant inoccupé, en regardant la dentelle du bonnet de sa femme, qu'un semblable article pourrait être fait au moyen des métiers à bas. Il paraît qu'il réussit à produire une machine, qu'on appela *machine d'épingles*, produisant un réseau simple imitant la fabrication de Bruxelles. Cette machine ne fut pas longtemps employée en Angleterre, mais elle fut appliquée en France. Le succès de Hamond engagea d'autres inventeurs à chercher à faire de la dentelle avec le métier à bas, et à tenter de nouvelles combinaisons pour produire une maille ayant la forme de l'hexagone régulier, ce qui n'avait pas encore été fait. Le *métier à chaîne* pour produire de la *dentelle* fut créé en 1782, et de 1799 date le premier essai pour fabriquer le *tulle* par moyens entièrement mécaniques. A l'aide de ces premières inventions, les ouvriers en bas produisirent une espèce inférieure de dentelle avec une grande facilité et à bas prix ; la demande s'en accrut et Nottingham devint le centre d'un nouveau et fructueux commerce.

Relativement à cette époque, le rapport du jury (classe XIX) de l'exposition de Londres fait remarquer avec raison : que « c'est un sujet d'étonnement de voir avec quelle rapidité un inventeur a succédé à un autre, et en simplifiant ou modifiant ces machines, a rendu inutiles celles de son prédécesseur. » On peut établir qu'aucune fabrication de tissu n'a employé autant de combinaisons mécaniques pour atteindre le but que celle de la fabrication de la *dentelle*, commençant par le métier à bas auquel s'ajouta la machine de Tickler ; puis vint la machine à point de filet, celle à chaîne, la machine pour les malines, et beaucoup d'autres. Toutes (sauf celle à chaîne) disparurent quand la machine à tulle actuelle fut introduite, en présence des ressources qu'elle offre pour fabriquer le tulle uni et brodé. Cette machine est dite en anglais *bobbine-net machine* (*machine à filet au moyen de bobine*), parce que les fils qui forment le réseau sont fournis partie par des bobines et partie par la chaîne.

Il n'existe pas d'essai suivi de succès pour produire mécaniquement le tulle avant 1809, quand M. Heathcoat fit breveter un métier dont l'idée première lui fut suggérée par un ouvrier qui avait travaillé à des machines propres à fabriquer les filets de pêche ; il vit la possibilité de fabriquer de la dentelle au moyen de fils de chaîne et de trame, en disposant ceux de chaîne en lignes parallèles et ceux de trame qui doivent prendre

une direction diagonale sur de petites bobines séparées, arrangées pour passer autour des fils tendus de la chaîne. Cette machine eut assez de succès et inquiéta tellement les ouvriers en dentelles qu'ils formèrent une coalition connue sous le nom de *luddites*, dans le but de détruire son invention. M. Heatcoat transporta en Devonshire la construction de ses machines. En 1823 la patente étant expirée, la fabrication reprit à Nottingham dont la dentelle au métier rivalisa, et bientôt fut supérieure aux vraies dentelles de France et des Pays-Bas. La machine reçut encore diverses améliorations, et en l'année 1846 elle fut mue à la vapeur. La dentelle unie ou tulle devint un article de grande consommation; ce qui avait été payé 6 guinées le yard fut acheté pour 1 sh. 6 pe. Au lieu d'importer de ce produit de France en Angleterre, on l'exporta d'Angleterre en France, jusqu'à ce que les fabricants du continent eussent appelé à leur secours les mêmes machines.

Une pièce de tulle sur le métier est représentée fig. 3751, elle consiste dans une série de fils de chaîne parallèles entre eux ; la trame tourne une fois autour de chaque fil de chaîne et deux fois près des bords; c'est ainsi que la lisière est formée. Une série de fils de trame



3751. 3752.

marchant dans un sens, et l'autre dans une direction opposée, symétrique avec la première, l'enroulement et l'enlacement des fils autour de la chaîne forment des mailles régulières de six côtés comme le montre la figure 3752 qui représente le produit obtenu par les trois séries de fils, lorsque la chaîne cesse d'être tendue sur le métier; une série de fils de trame tire les fils de chaîne à droite et l'autre série à gauche.

Les fils employés sur le métier à tulle sont enroulés sur des cylindres pour la chaîne, et sur de petites bobines extrêmement plates pour la trame. Celles-ci sont formées de deux disques de laiton percés d'un trou au milieu, rivés ensemble, de manière à former une rainure circulaire pour recevoir le fil (*fig.* 3753 et 3754). Le trou du centre est carré, pour recevoir une tringle qui empêche la bobine de tourner quand on enroule le fil lors de l'ourdissage qui se fait à la fois pour 100 ou 200 bobines semblables embrochées sur une même barre et le fil provenant de grosses bobines passant



3753. 3754.

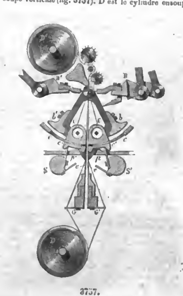
à travers les fentes d'une règle de laiton. Quand on fait tourner l'axe qui porte les bobines plates, les autres tournent et les fils se déroulent; la surface de la table sur laquelle passent ces fils est peinte en noir, ce qui permet de voir aussitôt un fil cassé.

Il faut plus de 1200 bobines pour une machine, et chacune d'elles porte environ 100 mètres; un cadran indique quand cette longueur est enroulée.

Chaque bobine est insérée dans un cadre en fer. Les figures 3755 et 3756 en sont une élévation et une coupe. Le trou H est destiné à recevoir la bobine, les bords se sont dressés et un ressort empêche la bobine de tomber, mais lui permet de tourner et de fournir du fil quand celui-ci est doucement tiré. Le fil passe par un œil percé au haut de ce chariot.

3755. 3756.

Les parties capitales d'un métier à tulle sont vues en coupe verticale (*fig.* 3757). D est le cylindre ensouple



3757.

portant la chaîne ; le haut du bâti porte un cylindre semblable autour duquel s'enroule le tulle fabriqué. Les fils de chaîne sont tendus verticalement entre ces deux rouleaux. GG sont des barres-guides s'étendant sur toute la longueur de la machine, et divisant en deux séries les fils de chaîne.

Le nombre des bobines, avec leurs chariots, est égal à celui des fils de trame, et comme elles doivent passer par les petits intervalles qui séparent les fils de chaîne, ils sont disposés sur deux rangs parallèles comme C et C', de chaque côté de la chaîne.

Les bobines sont portées par des espèces de peignes c, c' dont on voit une partie séparément *fig.* 3758. Les chariots de bobines portent tous une rainure *g g* pour embrasser une dent du peigne. Ces peignes sont placés de chaque côté de la chaîne, et leurs extrémités sont rapprochées de manière à ne laisser entre eux que

l'espace nécessaire pour les mouvements de la chaîne; de sorte que les chariots porte-bobines passent facilement sur l'un en quittant l'autre. Ceux-ci sont poussés, pour effectuer ce mouvement, par les deux barres *b, b'*, et quand une des lignes de chariots est passée



3758.

à travers les intervalles de la chaîne, la saillie inférieure du châssis porte-bobine est entraînée par des lignes mues par les axes S, S', lesquels tournent. La barre à laquelle le peigne est attachée se déplace latéralement, un peu à droite ou un peu à gauche; par ce mouvement, la position relative des deux peignes opposés change d'un intervalle de dent, c'est-à-dire que les chariots passent sur la dent voisine. Par ces moyens, toute la série des chariots fait une succession de mouvements latéraux, à droite pour un peigne, à gauche pour l'autre; forme une espèce de contre-marche pendant laquelle les fils se croisant tournent autour des fils verticaux de la chaîne et forment des mailles de filet. Après que les bobines ont tourné autour des fils de chaîne et les ont entourés de leurs fils, deux barres B, B', portant chacune une rangée d'aiguilles pointues qui entrent dans les mailles, entraînent le tulle et l'élèvent d'une hauteur de maille, pour permettre de former une nouvelle ligne. Elle reste en repos, jusqu'à ce que celle-ci ait été exécutée. Tout le travail de la machine est une répétition de mouvements semblables. Le tulle fabriqué est enroulé sur le cylindre D'.

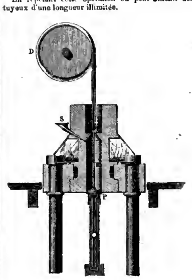
On est arrivé dans ces dernières années à appliquer la Jacquard au métier à tulle, de manière à obtenir au moins pour des dessins assez simples, pouvant s'effectuer avec un nombre limité de fils supplémentaires, un tulle brodé qui vient faire concurrence à la dentelle. Appliqué à nombre de produits légers, ce métier tient aujourd'hui une place importante dans l'industrie, avec cette condition que sa complication n'en permet l'emploi que par des populations ouvrières très-habiles.

TUYAUX DE PLOMB. La presse hydraulique est appliquée aujourd'hui avec grand succès à la fabrication de tuyaux de plomb de longueur indéfinie. La **fig. 3759** montre la disposition employée. Une tige solidaire avec le piston d'une puissante presse hydraulique peut pénétrer dans un réservoir R dans lequel on verse du plomb fondu. La chaleur est entretenue à l'aide d'un foyer dont la fumée est enlevée par un tuyau.

A l'extrémité du réservoir R est fixée une filière en acier, du diamètre que doit avoir l'extérieur du tuyau, dont le contre est formé par un mandrin du diamètre voulu. Le réservoir R est rempli à l'aide d'un entonnoir S qui est enlevé à volonté et le conduit est fermé par une broche de fer.

Tout étant préparé, si l'on fait mouvoir la presse hydraulique, le piston P chasse le métal et le force à passer entre la filière et le mandrin, en fermant un tuyau continu que l'on fait enrouler sur le cylindre D.

En répétant cette opération on peut obtenir des tuyaux d'une longueur illimitée.



3759.

TUYAUX SONORES. — ORGUES. L'orgue est un instrument à clavier ou à cylindre dans lequel le son est produit et soutenu au besoin par l'action de l'air comprimé sur divers appareils sonores.

Tout orgue renferme donc une soufflerie où l'on accumule de l'air sous une pression plus ou moins forte, puis des appareils distributeurs qui conduisent le vent sous une série de soupapes destinées à le laisser échapper dans les divers organes sonores au sein desquels il est mis en vibration, enfin un clavier qui permet à l'artiste de faire parler l'instrument, et d'en combiner les sons suivant les exigences de l'improvisation ou les prévisions de la musique écrite. Cette dernière partie de l'instrument est remplacée quelquefois par un cylindre tournant dont la surface est couverte de pointes convenablement espacées. Ces pointes agissent sur des organes de transmission qui ouvrent les soupapes et peuvent ainsi reproduire avec plus ou moins de fidélité, suivant des combinaisons préparées à l'avance, les effets que l'organiste obtient par l'attaque du clavier.

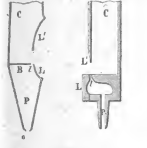
Les orgues de petite dimension ne sont que la reproduction réduite et simplifiée des grands instruments qui, dans nos églises, aident par leur puissante sonorité aux pompes du culte. Nous nous occuperons donc d'abord de la disposition et des effets de l'orgue d'église.

§ 1er. Organes sonores.

Les organes sonores de l'orgue d'église sont compris sous deux groupes principaux, les tuyaux à bouche et les tuyaux à anche; ces tuyaux sont en métal ou en bois.

Les tuyaux à bouche en métal sont formés d'une partie conique P qu'on appelle *le pied*, surmontée d'une partie cylindrique C appelée *le corps du tuyau*. Le pied porte à sa partie inférieure une ouverture O qui est

l'embouchure. Il est séparé du corps par une lame épaisse de métal B ayant la forme d'un segment de cercle (fig. 3760). Cette lame prend le nom de *biseau*; elle est



3760.

soudée par la partie circulaire de son contour aux parois du tuyau, la partie rectiligne est libre, et elle est coupée en talus de haut en bas. La paroi du pied qui fait face à ce talus est aplatie et se rapproche du biseau de manière à ne laisser entre elle et le biseau qu'une fente étroite L appelée *lumière*. Cette partie aplatie L prend le nom de *lèvre inférieure*. Le corps du tuyau s'élève verticalement au-dessus du pied auquel il est soudé par les trois quarts de son contour. La partie du corps qui est au-dessus de la lumière est coupée à une certaine hauteur au-dessus du biseau; elle est aplatie et terminée inférieurement par un bord rectiligne placé juste au-dessus de la lumière.

Cette partie aplatie L' analogue, par sa forme à la *lèvre inférieure*, prend le nom de *lèvre supérieure*. L'ensemble des deux lèvres et de la lumière forme ce qu'on appelle la *bouche* du tuyau. C'est en effet cette réunion d'organes qui permet au tuyau de produire un son, ou, pour employer le langage technique, de parler sous l'action du vent introduit par l'embouchure.

Idée sommaire de la fabrication du tuyau à bouche en métal.

Les tuyaux à bouche en métal sont ordinairement fabriqués avec un alliage de plomb et d'étain. Les proportions de cet alliage varient avec le soin plus ou moins grand apporté dans la construction des tuyaux. Le plomb coûte de 60 à 65 fr. les 100 kilos, tandis que l'étain coûte de 350 à 400 fr., mais aussi son entière mollesse en limite l'emploi. Car d'une part les tuyaux construits avec un alliage renfermant une trop forte proportion de plomb ont une mauvaise sonorité, d'autre part ces tuyaux résistent mal aux travaux de l'accord, et parfois même lorsqu'ils sont de grandes dimensions peuvent s'affaisser sous leur propre poids.

Voici les proportions des alliages employés dans la bonne facture pour les tuyaux de montre qui garnissent la façade de l'orgue et par leur éclat argentin ajoutent à l'effet de la décoration; on emploie : $\frac{9}{10}$ d'étain fin et $\frac{1}{10}$ de plomb.

Pour les corps des jeux d'anches $\frac{4}{5}$ étain et $\frac{1}{5}$ de plomb.

Pour les jeux de l'intérieur de l'orgue $\frac{3}{4}$ étain et $\frac{1}{4}$ de plomb.

Pour les pieds des tuyaux et les porte-vent on emploie un alliage connu sous le nom d'étoffe et qui renferme $\frac{5}{8}$ d'étain et $\frac{3}{8}$ de plomb.

L'étain que l'on emploie habituellement pour la fabrication des tuyaux est l'étain fin de Cornouailles. On emploie pour essayer sa pureté divers moyens fondés sur l'aspect que prend sa surface en se solidifiant après la fusion. Si on fond une partie de la surface d'un lingot d'étain pur avec un fer à souder, la partie touchée doit après le refroidissement être luisante, blanche et unie. Dans le cas où le métal est mêlé d'oxyde, la surface fondue est raboteuse dans une étendue plus ou moins grande; enfin elle est mate et grise si l'étain est allié de plomb. Un des moyens les plus employés pour vérifier la pureté de l'étain est l'essai à *la balle*. Cette méthode consiste à fondre dans un moule une balle d'étain dont la pureté est connue, et qui sort de type, puis à fondre dans le même moule une balle de l'étain que l'on veut vérifier. Si la deuxième balle pèse autant que la première, l'étain est pur. Si elle pèse davantage, il est allié de plomb; il est mélangé d'oxyde si elle pèse moins.

Pour fabriquer les tuyaux on commence par couler l'alliage en planches d'une épaisseur appropriée à l'emploi qu'on en veut faire. A cet effet on a une longue table parfaitement dressée, construite avec des madriers épais que l'on assemble avec des traverses en bois et des chevilles en bois ou en fer. On recouvre cette table d'une toile de coutil bien tendue, cette toile est fixée à un châssis qui entoure la table. Sur cette table est posée une auge ouverte à sa partie inférieure et dont trois côtés appuient exactement sur la table, le quatrième est mobile et laisse entre la table et lui un intervalle plus ou moins grand; quand l'auge est à l'extrémité de la table, cette ouverture est fermée par une tringle de bois fixée à la table elle-même.

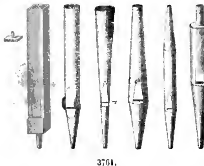
L'auge est munie d'une coulisse qui glisse dans une feuillure pratiquée dans l'épaisseur du châssis qui est fixé à la table. Quand on veut couler une feuille d'alliage, on commence par fondre l'alliage dans une chaudière, puis on met dans une marmite en fer la quantité que l'on veut employer; on enlève avec soin la crasse qui s'est accumulée à la surface, ce qui se fait facilement en communiquant à la masse un mouvement de giration à l'aide d'une cuiller en fer; l'oxyde qui est plus léger se réunit au centre et on peut l'enlever d'un seul coup. On attend le moment où l'alliage est sur le point de se solidifier et commence à devenir pâteux, on le verse alors dans l'auge, puis on entraîne celle-ci rapidement d'un bout à l'autre de la table. Le métal se dépose alors sous forme d'une feuille d'égale épaisseur qui se fige aussitôt. On a soin de détacher la feuille de la toile avant son complet refroidissement; sans cela la contraction qu'elle éprouve le ferait rompre par le milieu. Lorsque l'alliage est bien homogène, il est couvert sur toute sa surface de larges yeux ronds et brillants dont la teinte et la dimension varient avec la pureté plus ou moins grande de l'alliage.

Ces feuilles, une fois obtenues, sont rabotées; souvent aussi elles sont écrasées soit au marteau soit au martinet. Puis on les découpe suivant des profils tracés à l'avance et qui représentent le développement des pieds ou des corps des tuyaux. On recouvre ensuite la surface de ces diverses pièces d'un enduit formé de blanc d'Espagne mélangé avec de la colle forte, dissoute dans une assez grande quantité d'eau; enfin on roule les feuilles d'étain à la forme qu'elles doivent avoir, et ensuite on met le métal à nu dans les parties qui doivent être soudées entre elles. Dans les pieds comme dans les corps des tuyaux les soudures sont faites à la partie postérieure. On emploie ordinairement pour la soudure un alliage de $\frac{2}{3}$ d'étain fin et $\frac{1}{3}$ de plomb. Les soudures s'effectuent au moyen d'un fer de forme conique tenu avec une poignée en bois. Les ouvriers exercés font couler cette soudure qui se fige entre les deux bords de la feuille métallique en laissant un petit cordon uni et saillant. Il est bien évident que les parties du pied et du corps du tuyau qui doivent former la lèvre inférieure et la lèvre supérieure ont dû

être tout d'abord aplaties et le taillées à forme convenable. Dans les grands tuyaux on pratique à l'endroit des lèvres deux échancrures en forme d'arcade, puis on relève le métal de manière à former des rebords saillants sur lesquels on rapporte deux pièces en forme d'écusson.

Les tuyaux à bouche se divisent en trois groupes : tuyaux ouverts, tuyaux bouchés, tuyaux à cheminée. Dans les tuyaux bouchés ou bourdons l'extrémité supérieure est fermée par un fond en métal soudé sur le contour du tuyau. Quelquefois on emploie pour boucher le tuyau une calotte cylindrique en métal qui enveloppe le corps du tuyau, et pour qu'elle joigne hermétiquement on a soin de coller sur le contour du tuyau un papier épais ou une mince bande de peau. Cette disposition a l'avantage de rendre l'accord du tuyau plus facile. Dans les tuyaux à cheminée la partie supérieure du tuyau est partiellement fermée par un fond annulaire au centre duquel s'élève un tube plus étroit qui est la cheminée.

Enfin on construit également des tuyaux dans lesquels les corps sont coniques et vont en s'élargissant de bas en haut et de haut en bas, d'autres dans lesquels le corps cylindrique d'abord se rétrécit ensuite en forme de fuseau; d'autres dans lesquels les corps cylindriques se terminent par un pavillon évasé (fig. 3761).



3761.

Ces diverses formes ont pour objet de modifier le timbre des tuyaux. Nous y reviendrons plus tard.

Tuyau à bouche en bois. — Les tuyaux en bois sont construits d'après les mêmes principes que les tuyaux en métal, seulement ils sont à section rectangulaire; le pied, au lieu d'être conique, a la forme d'un bloc à peu près cubique; la base inférieure de ce bloc porte un conduit cylindrique P qui sert à amener le vent. L'air sort du pied par une fente étroite qui est la lumière et vient se briser contre la lèvre supérieure dont le tranchant est placé au-dessus. Le corps du tuyau s'élève perpendiculairement au-dessus du pied, sous la forme d'un prisme creux à section rectangulaire, et c'est la face antérieure de ce prisme qui est raccourcie et coupée en plan incliné pour former la lèvre supérieure du tuyau.

La construction des tuyaux en bois est facile à comprendre, elle s'exécute ainsi qu'il suit. On prend quatre planches de longueur et de largeur convenables, puis un bloc de bois destiné à former le pied. On entaille ce bloc à l'aide de la scie et du ciseau, de façon à ce qu'il soit ouvert par devant et par les côtés; on assemble ensuite sur ce bloc trois des planches qui doivent former le tuyau, et on a alors une gouttière rectangulaire présentant à l'une de ses extrémités une cavité prismatique dont le fond et deux parois sont formées par la matière du bloc, et les deux autres parois par le prolongation des parois du tuyau.

La quatrième planche est ensuite entaillée à l'une de ses extrémités de manière à former la lèvre supérieure du tuyau; on l'assemble avec les trois autres planches. Enfin on adapte sur la partie ouverte du bloc une lame rectangulaire de bois épais, c'est cette lame qui fait l'office de lèvre inférieure. Il faut avoir soin, avant de fixer définitivement la lèvre supérieure, de creuser, tant dans cette lèvre que dans la partie du bloc qui joue le rôle de biseau, un sillon qui permette à l'air de s'échapper et serve ainsi de lumière. Enfin quand le tuyau est terminé on en perce le fond et on y ajuste la partie cylindrique du pied. Il arrive souvent que les facteurs ajustent la lèvre inférieure avec des vis en interposant dans le joint une bande de peau; de cette manière il est plus facile de corriger les imperfections du tuyau. Quelquefois même la lèvre supérieure et la lèvre inférieure sont réunies en une seule pièce que l'on rapporte de la même manière sur tuyau.

Dans les petits tuyaux l'ajustement des parois se fait par simple juxtaposition avec interposition de colle forte. Dans les grands il est utile de pratiquer dans le bois des feuillures, de façon que les diverses parties rentrent les unes dans les autres afin de mieux en assurer l'ajustement. On peut aussi consolider le tuyau en collant à la partie supérieure un ruban de fil que l'on enroule autour du tuyau. Cette précaution est surtout utile pour les bourdons ou tuyaux bouchés. En effet, on se sert, pour boucher la partie supérieure de ces tuyaux, d'un tampon en bois garni de peau, que l'on enfonce dans le corps du tuyau de manière à le réduire à la longueur convenable, et on conçoit que la pression exercée latéralement par ce tampon peut avoir pour effet de faire éclater le tuyau.

Les anciens facteurs conseillaient de construire les tuyaux en chêne; aujourd'hui on a généralement l'habitude de les faire en sapin, seulement on réserve le chêne pour la bouche. On a soin, du reste, de protéger le bois par une couche de peinture.

Division des jeux à bouche. — Les divers tuyaux que nous venons de décrire sont groupés dans l'orgue par série chromatique de 54 notes ou plus, qui constituent chacune *un jeu*. Tous les tuyaux d'un même jeu doivent être embouchés de façon à présenter dans leur sonorité une continuité de timbre aussi parfaite que possible. Les facteurs ne s'assujettissent pas à une homogénéité complète dans la sonorité d'un même jeu depuis le grave jusqu'à l'aigu. En effet, dans l'orgue, comme dans tout instrument à clavier, les diverses parties de l'échelle des sons ne sont pas appelées à jouer le même rôle; les unes serviront de base à l'harmonie, les autres devront faire ressortir le chant. On doit donc, dans toute l'étendue d'un jeu, faire varier les proportions des tuyaux d'une manière continue, tout en se réservant de modifier dans certaines parties du jeu la loi suivant laquelle se fait le décroissement des diverses dimensions.

Les jeux sont ordinairement désignés d'après la longueur du tuyau le plus grave qui est ordinairement un ut. Les jeux ouverts sont en allant du grave à l'aigu. La flûte ouverte de trente-deux pieds, celles de seize pieds, de huit pieds, de quatre pieds, de deux pieds. A côté de ces jeux se trouvent les jeux bouchés de même intonation, dont la longueur est moitié moindre. Ce sont le bourdon de trente-deux pieds ou flûte bouchée de seize, le bourdon de seize pieds ou flûte bouchée de huit, le bourdon de huit ou flûte bouchée de quatre pieds.

Ces divers jeux, suivant leur taille et la manière dont ils sont embouchés, suivant la pression du vent,

peuvent à égalité de hauteur différer par le timbre. Il arrive donc dans un orgue que le même jeu ou plutôt la même série de tuyaux peut se trouver répétée un certain nombre de fois sons des noms différents. En général les jeux de menue taille sont doués d'une sonorité mordante qui rappelle les instruments à archet, de là le nom de *violes* que l'on donne à ces jeux; tels sont la *basse de viole*, la *viola di gamba*, dont on a fait par abréviation *la gambe*. Dans les jeux de grosse taille au contraire le son est rond, moelleux, quelquefois même un peu sourd. Il y a donc dans ces timbres différents deux points extrêmes entre lesquels on trouve toute une série de nuances intermédiaires.

L'orgue renferme également d'autres jeux que l'on désigne sous le nom de jeux de mutation. Ils sont *simples* ou *composés*. Les jeux de mutation *simples* sont à la quinte ou à la tierce des jeux principaux dont nous venons de parler, tel est le *gros nasard* dont tous les tuyaux donnent la quinte des tuyaux correspondants du jeu de huit pieds. Le *nasard* dont tous les tuyaux donnent la quinte de ceux du jeu de quatre pieds. La *grosse tierce* qui donne la tierce du quatre pieds, et la *tierce* qui donne les tierces du jeu de deux pieds. Les jeux composés sont la fourniture, la cymbale, le cornet.

Chaque note de la fourniture est formée de quatre ou cinq et quelquefois sept tuyaux qui parlent à la fois et donnent, le premier un son ayant l'intonation de la touche correspondante du clavier, c'est-à-dire un ut si cette touche est un ut, puis la quinte de cette même note, puis l'octave, puis la quinte de cette octave, etc. La cymbale présente une composition analogue ; le tableau suivant indique la composition de la première note de ces deux jeux.

Fourniture.			Cymbale.		
ut_2	4	pieds.	ut_2	4	pieds.
sol_2	32	pouces.	sol_2	32	pouces.
ut_3	2	pieds.	ut_3	2	pieds.
sol_3	16	pouces.	sol_3	16	pouces.
ut_4	1	pied.	ut_4	1	pied.
sol_4	8	pouces.	sol_4	8	pouces.
ut_5	6	pouces.	ut_5	6	pouces.
			sol_5	4	pouces.
			ut_6	3	pouces.

Dans ces jeux chaque rangée renferme la série chromatique des notes; seulement de distance en distance la série se continue à l'octave grave; ainsi aux tuyaux *ré*#$_5$ *mi*$_5$ succèdent les tuyaux *fa*$_4$, *fa*#$_4$, *sol*$_4$, etc.; ces changements constituent ce qu'on appelle *les reprises*, elles sont nécessitées par l'impossibilité où l'on serait de prolonger jusqu'au bout chaque série sans atteindre la limite des sons aigus. En outre elles donnent un caractère différent au jeu suivant la manière dont elles sont disposées, et c'est précisément la fréquence plus grande de ces reprises qui caractérise la cymbale et la distingue de la fourniture.

Ces deux jeux ne se jouent jamais seuls; on y joint toujours les 32 pieds, les 16 pieds, les 8 pieds, et cet ensemble forme ce qu'on appelle le plein jeu.

La fourniture et la cymbale ont pour effet de donner au plein jeu un caractère et un mordant particuliers qui convient spécialement en plain-chant. Seulement ces jeux doivent avoir une importance subordonnée à celle de l'orgue dont ils font partie, et on les réduit dans la même proportion ; ainsi dans beaucoup d'orgues la cymbale n'existe pas, et la fourniture est réduite à 5, 4 et quelquefois 3 rangées prises parmi les plus aiguës.

Le *cornet* est un jeu composé, comme les précédents, de plusieurs rangées de tuyaux dont le nombre peut s'élever jusqu'à sept. Ce jeu ne s'étend ordinairement que dans la moitié supérieure du clavier, les diverses rangées qui le composent sont à l'unisson des *huit pieds* des *prestants*, du *nasard*, de la *doublette* et de la *tierce*. Quoique chaque note de ce jeu se compose de cinq tuyaux elle ne donne qu'un seul son, celui du tuyau le plus grave; seulement le timbre a un caractère tout particulier qui est celui des tuyaux à anches: de là le nom de cornet donné à ce jeu.

Proportion des diverses parties des tuyaux à bouche.

La hauteur du son rendu par un tuyau dépend de ses diverses dimensions. La longueur du corps est l'élément qui influe le plus sur le ton d'un tuyau ; en général le nombre de vibrations donné par un tuyau est à peu près inversement proportionnel à la longueur du corps.

Les autres dimensions du tuyau ont aussi leur influence; ainsi, à égalité de longueur, un tuyau est d'autant plus grave que son diamètre est plus grand. Par suite, les tuyaux de même taille sont pour la même note toujours plus longs que ceux de grosse taille.

La hauteur de la bouche et sa largeur influent également sur le son du tuyau. Le son baisse toutes les fois qu'on diminue la largeur de la bouche ; quant à la hauteur elle exerce deux influences contraires. En effet, quand on rend la bouche plus haute, la lèvre supérieure s'éloigne de la lumière, et, par suite, la longueur de la lame d'air vibrante comprise dans la hauteur de la bouche augmente; ce qui tend à abaisser le son; mais, d'autre part, la partie inférieure du corps communiquant avec l'air par une plus large ouverture, le son tend à monter. L'expérience prouve, du reste, qu'il y a pour chaque tuyau une hauteur de bouche qui convient mieux que toute autre pour bien faire parler le tuyau.

La pression de l'air insufflé dans le tuyau en modifie également le son, qui est d'autant plus élevé que la pression est plus forte. En général, la hauteur de bouche sous laquelle un tuyau produit le meilleur effet est d'autant plus grande qu'il est embouché sous une plus forte pression.

On voit donc que le facteur dispose d'un certain nombre d'éléments dont il peut user à sa guise pour amener les tuyaux à l'intonation convenable. Mais ces divers moyens n'ont pas seulement pour effet de modifier le son dans sa hauteur, ils en changent également le timbre et l'intensité, de sorte que, si les tuyaux n'ont pas été construits à l'avance dans des proportions convenables, leur accord ne peut se faire que par des modifications qui nuisent à l'égalité des jeux. Ce défaut d'homogénéité dans le timbre des jeux est un des vices les plus fréquents dans les instruments qui sont l'œuvre de facteurs inhabiles ou négligents.

Il est donc indispensable d'avoir des règles précises qui permettent d'arriver du premier coup aux dimensions les plus convenables pour les divers tuyaux d'un même jeu; ces diverses dimensions doivent varier suivant une loi régulière, quand on parcourt la série chromatique des sons; et c'est précisément la règle pratique destinée à fournir ces diverses dimensions qui constitue ce qu'on appelle le *diapason d'un jeu*.

Avant d'établir cette règle il est nécessaire que nous fassions une courte digression sur quelques principes fondamentaux d'acoustique.

Les sons, quelle que soit leur hauteur, se propagent avec une vitesse constante d'environ 340^m à la température de 16°; par conséquent, si un son est produit par un corps exécutant, par exemple 100 vibrations par seconde, la distance à laquelle le son se propage pendant la durée d'une vibration est égale à la 100e partie de 340^m, c'est-à-dire à 340^m divisés par le nombre de vibrations; cette distance est précisément ce que les physiciens appellent la longueur d'onde.

Le tableau suivant donne le nombre de vibrations

des diverses notes de la gamme tempérée qui commence par le *la* du diapason normal, lequel exécute, comme on le sait, 870 vibrations par seconde.

Notes.	Nombres de vibrations par seconde.	Longueurs d'onde.
		mm.
La	870	390,8
La dièse ou Si bémol.	922	368,8
Si.	976,5	348,4
Ut	1034	328,6
Ut dièse ou Ré bémol. . . .	1096	310,4
Ré	1161	292,7
Ré dièse ou Mi bémol	1230	276,3
Mi	1303	260,8
Fa	1384	216,4
Fa dièse ou Sol bémol. . . .	1463	232,3
Sol	1550	219,3
Sol dièse ou La bémol. . . .	1642	207 0
La	1740	195,4

Pour obtenir les vibrations qui correspondent aux mêmes notes dans les octaves supérieures, il faudrait multiplier les nombres du tableau par 2, 4, 8, etc., et pour obtenir les nombres de vibrations correspondant aux octaves inférieures, il suffirait de diviser par 2, 4, 8, etc.

Les longueurs d'onde s'obtiendraient, au contraire, en divisant par 2, 4, 8, etc., pour les octaves supérieures, et en multipliant par 2, 4, 8, pour les octaves inférieures.

Ces considérations étaient nécessaires pour comprendre ce qui va suivre. En effet, l'expérience et la théorie s'accordent à prouver qu'en soufflant dans des tubes ouverts aux deux bouts ayant pour longueurs les longueurs d'onde, les sons qu'on obtient sont précisément ceux qui correspondent à ces mêmes longueurs d'onde. Il semble donc que pour obtenir des tuyaux rendant les divers sons de la gamme, il suffit de donner aux corps de ces tuyaux des longueurs précisément égales aux longueurs d'onde. Si on opérait ainsi, on aurait des tuyaux tous trop bas; en effet, dans les tuyaux d'orgue le bas du tuyau est partiellement fermé, ce qui abaisse le son; par suite, pour qu'un tuyau d'orgue donne le même son qu'un tuyau embouché à plein orifice, il faut le tenir un peu plus court et lui donner une longueur égale non pas à la longueur d'onde, mais à cette longueur diminuée d'une certaine quantité variable avec le tuyau. M. Cavaillé-Coll a donné à cet égard la règle suivante dont l'exactitude est constatée par une longue pratique.

1° Dans les tuyaux à section rectangulaire, c'est-à-dire les tuyaux de bois, on prend pour longueur la longueur d'onde diminuée de deux fois la profondeur du tuyau.

2° Dans les tuyaux à section circulaire on prend pour longueur des corps la longueur d'onde diminuée des cinq sixièmes du diamètre du tuyau.

Cette règle permet de calculer à l'avance les longueurs de tous les tuyaux d'un même jeu dès qu'on est convenu de suivre une certaine progression pour les diamètres.

Tuyaux octaviants, tuyaux harmoniques.

Lorsqu'un tuyau à bouche est mis en vibration par un vent de plus en plus fort, il rend une série de sons que l'on désigne sous le nom de sons harmoniques. Le plus grave de ces sons étant pris pour son fondamental, le suivant est à l'octave, celui qui vient ensuite à la quinte de l'octave, puis vient la double octave, la tierce majeure de la double octave, la quinte de cette double octave, etc. On facilite singulièrement l'émission de ces sons harmoniques en diminuant la hauteur de la bouche à mesure que l'harmonique est plus élevé. C'est ainsi que des tuyaux convenablement embouchés, au lieu de donner le son fondamental, donnent inévitablement son octave et présentent par suite la même intonation que des tuyaux moitié plus courts, mais avec un timbre tout à fait différent : on donne à ces tuyaux le nom de tuyaux octaviants.

On peut aussi emboucher les tuyaux de manière à leur faire rendre le troisième, quatrième ou cinquième harmonique. Ils prennent alors le nom de tuyaux harmoniques ; seulement, pour assurer l'émission du son, il est utile de percer, comme l'a fait M. Cavaillé, un trou en un point du tuyau où se trouve un ventre de vibration. La pratique, d'accord sur ce point avec la théorie, indique qu'il faut percer ce trou à une distance de l'ouverture supérieure égale à la longueur d'onde du son que le tuyau doit rendre.

Pour avoir la longueur du corps d'un tuyau harmonique on calcule, d'abord d'après la règle de M. Cavaillé, la longueur du tuyau qui aurait pour son fondamental le ton que doit donner le tuyau qu'on construit, et on ajoute à cette longueur un certain nombre de fois la longueur d'onde correspondant à ce même son.

Tuyaux a anche.

Les tuyaux à anche sont des tuyaux dans lesquels le son est produit par l'écoulement intermittent de l'air sous une lame vibrante (fig. 3762). Ces tuyaux sont à anche battante ou à anche libre. Les tuyaux à anche battante se composent d'un pied qui amène le vent dans le tuyau. Ce pied est cylindrique et a ordinairement de 15 à 30 cent. de hauteur. Il est fermé à sa partie supérieure par un bouchon également cylindrique, appelé noyau ; le noyau est surmonté d'un tube conique que l'on appelle la boîte. Le noyau est percé de part en part, et dans l'ouverture entre à force une gouttière semi-cylindrique. Sur cette gouttière est appliquée une languette en laiton fermée qui fermerait exactement la gouttière, si elle était rigoureusement plane. Mais cette languette est légèrement courbée et laisse un petit intervalle entre sa surface et le bord de la gouttière. L'ensemble de la gouttière et de la languette forme ce qu'on appelle l'anche. Cette anche ne ferme pas complètement le trou cylindrique pratiqué au noyau ; l'espace restant est rempli par un coin de bois qui sert en même temps à assujettir l'anche. Dans la boîte est engagé le corps du tuyau qui est habituellement conique.



3762.

Le vent arrive dans le tuyau par le pied, passe entre la gouttière et la languette et met celle-ci en vibration. Pour régler le ton de l'anche on se sert d'un fil de fer recourbé en crochet qui passe à travers le noyau ; l'extrémité inférieure du fil presse la languette et l'appuie sur la gouttière ; ce fil prend le nom de rasette. On peut donc, en enfonçant plus ou moins la rasette, modifier la longueur de la partie libre de la languette de manière à obtenir un ton plus ou moins élevé.

Dans les tuyaux à anche libre la disposition est analogue, sauf que la languette pénètre librement dans l'ouverture de la gouttière au lieu de venir s'appliquer contre les bords de cette ouverture.

Les jeux à anche libre se distinguent des jeux à

anche battante par le caractère de leur timbre qui a plus de douceur, mais qui manque de mordant et d'éclat. On remarque que dans les jeux à anche battante le pied est sans influence sur le ton de l'anche, tandis que le corps influence ce ton et peut même, s'il est mal proportionné, empêcher l'anche de parler. Dans les tuyaux à anche libre, au contraire, le corps modifie seulement le timbre de l'anche, tandis que le pied doit présenter des dimensions en rapport avec le ton de l'anche.

Il y a plusieurs sortes de jeux d'anches battantes et libres.

Parmi les jeux d'anches battantes nous avons :

La bombarde, jeu de 32 pieds et de 16 pieds ;

La trompette, jeu de 8 pieds ;

Le clairon, jeu de seize pieds.

Dans ces trois jeux les corps sont coniques.

Le cromorne est un jeu de 8 pieds dont les corps sont cylindriques ; il a un timbre plus doux que celui de la trompette et dans quelques parties de son étendue rappelle la clarinette.

Le hautbois est un jeu dont les corps ont la forme d'un cône étroit, terminé par un pavillon évasé d'abord et qui se rétrécit ensuite ; il imite plus ou moins parfaitement l'instrument dont il porte le nom.

Le basson est analogue par la forme de son corps à la trompette, il en diffère par l'anche qui bat ordinairement sur une gouttière garnie de peau ; quelquefois aussi cette gouttière est fermée par une paroi dans laquelle est percée une ouverture arrondie par le bout inférieur et terminée en pointe par le haut.

La voix humaine est un jeu à languettes minces et étroites dont tous les pieds ont même dimension et dont le corps est formé d'un cône d'environ 5 centimètres terminé par un bout de cylindre de même longueur. L'ouverture supérieure de ce cylindre est fermée par une lame circulaire de métal soudée sur une partie de son contour et relevée plus ou moins, de façon à laisser échapper le son en en modifiant le timbre.

Les jeux d'anches libres sont peu nombreux. Les plus employés sont le cor anglais et l'euphone. Le premier de ces jeux est construit à peu près dans la forme du hautbois ; il présente des corps formés d'un cône étroit suivi d'un cône plus évasé, terminé par un tronc de cône qui va en se rétrécissant. Le deuxième jeu est monté dans des pieds dont la hauteur croît avec la gravité de son, et le corps est formé d'un cône très-court coiffé d'une espèce de calotte sphérique et percé d'une ouverture latérale pour laisser échapper le son.

§ II. Soufflerie.

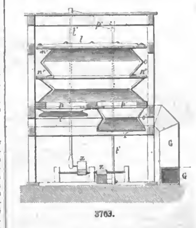
La soufflerie est une des parties les plus importantes de l'orgue, et elle doit être traitée avec un soin particulier ; elle est pour l'orgue ce que sont les poumons pour le chanteur. Un orgue dont la soufflerie est insuffisante sous le rapport du volume et de la pression manque de force et d'haleine et paralyse l'inspiration de l'organiste ; tandis que le même instrument, avec les mêmes jeux, mais avec une soufflerie vaste et puissante, peut produire les plus beaux effets de sonorité sans perdre de son charme dans les nuances délicates.

Dans les anciens instruments, la soufflerie se composait d'une série de soufflets semblables aux soufflets de forge, c'est-à-dire en forme de coin. Chacun de ces soufflets avait sa table inférieure fixée sur un châssis à peu de distance sur le sol, et la table supérieure pouvait se relever au moyen d'une bascule sur laquelle le souffleur appuyait. Cette opération développait les plis du soufflet qui se remplissait en aspirant l'air par des trous pratiqués à la table inférieure. Ces trous étaient bouchés par des lames de peau collées seulement par un bord et qui jouaient le rôle de soupapes, s'ouvrant de l'extérieur à l'intérieur. La table supérieure était chargée de poids, et la pression exercée par cette table et par les plis sur l'air du soufflet le chassait dans des conduits ou porte-vent destinés à mener le vent jusqu'aux tuyaux. Pour empêcher qu'il ne se produisît dans ce conduit un effet d'aspiration chaque fois que l'on soulevait le soufflet, on avait soin de placer, au point de jonction du soufflet et du porte-vent, une soupape s'ouvrant de l'intérieur du soufflet vers l'extérieur. Cette soupape était disposée à l'intérieur d'un conduit étroit, débouchant dans le soufflet et auquel on donnait le nom de gosier.

Cette disposition de soufflerie avait de graves inconvénients. D'abord la soufflerie occupait une place considérable ; secondement le système mécanique adopté pour relever les soufflets constituait un très-mauvais emploi du travail de l'homme, et le souffleur se fatiguait doublement, obligé qu'il était de se courber à chaque instant jusqu'à terre pour abaisser chaque bascule, et de courir de soufflet en soufflet pour ne jamais laisser l'organiste manquer de vent.

Enfin il était presque impossible, avec ces souffleries, d'obtenir une pression constante. Nous n'insisterons donc pas davantage sur ce système qui est complétement abandonné aujourd'hui.

Les souffleries modernes sont basées sur un système dont l'inventeur est un horloger anglais nommé Cummins. Elles ont été importées en France par M. John Albey ; elles se composent d'un réservoir ou soufflet quadrangulaire en forme de lanterne dans lequel le vent s'accumule, et d'un ou deux soufflets cunéiformes placés en dessus et jouant le rôle des pompes. Ces pompes aspirent l'air extérieur et le refoulent dans le réservoir, d'où il s'écoule dans les porte-vent. (Cette disposition est représentée dans la figure 3763.)



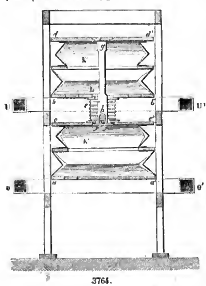
3763.

Si on se contentait de former le réservoir d'une table supportée par des plis, la pression ne pourrait pas être constante ; en effet, le poids du pli s'ajouterait au poids de la table au fur et à mesure qu'ils se déploieraient, et la pression irait en croissant.

Pour éviter cet inconvénient, on dispose la soufflerie de la manière suivante : on la forme de deux tables et d'un cadre intermédiaire réunis par deux plis. La table inférieure est fixe. Le cadre et la table supérieure sont mobiles. Le pli compris dans l'un des intervalles

est saillant, l'autre est rentrant comme l'indique la figure 3764.

Du reste, ces deux plis ont la même dimension. On réunit les deux tables par un système de parallélogrammes articulés qui ont pour effet de faire soulever la table et le châssis intermédiaire à la fois, de façon que les deux plis soient toujours ouverts sous le même angle. De cette manière, dès que le réservoir est tant soit peu ouvert, le poids tout entier de la table mobile, du châssis et des plis, exerce sa pression sur l'air intérieur; quant à la disposition du pli, elle a pour effet de neutraliser l'influence que l'ouverture des plis peut exercer sur la charge du soufflet. En effet, si la pression de l'air intérieur tend à fermer l'un des plis, elle tend aussi à ouvrir l'autre, et ces deux efforts égaux se compensent de telle sorte qu'il y a toujours, à quelque hauteur que soit le soufflet, la même relation entre le poids des pièces qui le constituent et la pression de l'air intérieur (fig. 3764).



3764.

Les pompes situées en dessous du soufflet ont leur table inférieure mobile. Elle est percée de plusieurs rangées de trous recouverts intérieurement par des lames rectangulaires de peau collées par un de leurs bords. Ces lames font l'office de soupapes et s'ouvrent vers l'intérieur. La table dormante du réservoir est percée de la même manière et présente un système de soupapes tout à fait semblable. Enfin cette table est elle-même percée d'une ou plusieurs ouvertures communiquant avec les porte-vent.

On emploie, pour faire mouvoir les pompes, un levier qui tourne autour d'un de ses points; de part et d'autre du centre de rotation de ce levier sont attachées des tiges articulées qui soutiennent les pompes, de telle sorte qu'en communiquant à ce levier un mouvement de bascule on peut soulever l'une des pompes, tandis qu'on abaisse l'autre. Ce mouvement alternatif est donné au levier à l'aide d'un de ses bouts que l'on prolonge suffisamment pour que l'effort à exercer ne dépasse pas la force moyenne de l'homme. Mais la meilleure manière de faire mouvoir les pompes est d'employer, comme l'a fait M. Cavaillé, de larges pédales reliées entre elles par de longues tiges verticales articulées aux deux bouts d'un levier horizontal mobile autour de son milieu. De cette manière le souffleur prend ces tiges dans les mains, et, posant ses pieds sur les pédales, les abaisse alternativement en pesant à tour de rôle sur l'une et sur l'autre de tout le poids de son corps. Dans ce système le travail musculaire de l'homme est utilisé de la façon la plus avantageuse. Dans tous les soufflets on fixe à la table inférieure une soupape de décharge fermée par la pression d'un ressort; à cette soupape est attachée une corde fixée par son autre bout à la table supérieure; dès que cette table atteint une certaine hauteur, la soupape est soulevée et l'excès d'air s'écoule.

Soufflerie à diverses pressions. — La pression sous laquelle parlent les divers tuyaux d'un jeu influe considérablement sur la qualité de leur son; l'expérience prouve que les tuyaux graves exigent une grande quantité d'air s'écoulant sous une faible pression; les tuyaux aigus, au contraire, ne parlent bien que sous un vent à forte pression. Cette considération avait échappé aux anciens facteurs d'orgues; on avait bien, dans quelques instruments, employé une pression plus forte pour certains jeux; mais la pression était toujours la même dans l'étendue d'un même jeu, ou du moins elle n'était modifiée que par le plus ou moins d'ouverture donné aux pieds des tuyaux. Aussi existait-il dans les anciennes orgues une disproportion marquée entre la puissance de basses et celle de dessus; c'était principalement dans les jeux d'anches que cette inégalité se manifestait, et on y remédiait d'une façon imparfaite en ajoutant des dessus de trompettes et des cornets, jeux dont l'étendue était bornée à la moitié supérieure du clavier.

M. Cavaillé Coll a remédié le premier à cet inconvénient en employant jusqu'à trois pressions différentes pour les diverses parties d'un même jeu.

Pour obtenir des pressions différentes il place l'un au-dessus de l'autre deux réservoirs semblables (kk' fig 5), ces réservoirs communiquent par un gosier flexible e fermé de plis superposés; ces réservoirs ont leurs tables supérieures cc' dd' inégalement chargées, c'est la table cc' qui porte la plus forte charge, une tige g est fixée à la table mobile du réservoir supérieur, elle est terminée par deux appendices qui peuvent presser les deux soupapes ff destinées à faire communiquer ces deux réservoirs.

Le vent des pompes arrive d'abord dans le réservoir inférieur qui est le plus chargé, la table de ce réservoir se soulève et va au-devant de la tige qui ouvre les soupapes, immédiatement une partie de l'air comprimé se précipite du premier réservoir dans le second et s'y détend sous une pression moindre; la table dd' se soulève alors, et au fur et à mesure que les pompes fonctionnent, les deux réservoirs se remplissent d'air aux pressions réglées par la charge des tables; cet air se dépense par les porte-vent nn', oo', et si la dépense de l'un des réservoirs l'emporte sur celle de l'autre, l'action des pompes jointe au système de la tige et ses soupapes rétablit l'équilibre.

§ III. SOMMIERS.

On donne le nom de sommiers à la partie de l'orgue qui supporte les tuyaux et qui a pour fonction de leur distribuer le vent.

Chaque sommier se compose d'un châssis divisé transversalement par une série de tringles de même épaisseur, que l'on appelle les barres. L'intervalle compris entre deux barres consécutives prend le nom de gravure. L'assemblage de ces diverses parties doit être fait avec le plus grand soin. Cet ensemble forme ce

qu'on appelle la grille du sommier; elle doit contenir autant de gravures qu'il y a du notes au clavier correspondant.

Sur la grille on collu un panneau d'environ un centimètre d'épaisseur, c'est ce qu'on appelle la table. Il est indispensable que cette table joigne par tous les points avec les châssis et les barres; car chaque gravure doit former plus tard un conduit parfaitement étanche. On a même soin de rendre la jonction plus parfaite en remplissant les gravures de colle bien chaude que l'on égoutte ensuite, de façon à laisser sur toute la surface un enduit imperméable.

Sur la table on fixe avec des vis et de la colle les *faux registres* ou *registres dormants*, ce sont des lames de bois d'environ 7 millimètres d'épaisseur sur 27 millimètres de largeur; elles sont fixées dans une direction perpendiculaire à la longueur des gravures et séparées les unes des autres par un intervalle plus ou moins grand. Cet intervalle est rempli par d'autres lames de bois mobiles que l'on appelle *les registres*. Les registres doivent remplir exactement l'intervalle des faux registres et joindre parfaitement avec la table; de plus, ils doivent avoir la même épaisseur que les faux registres. Sur les registres et les faux registres sont appliquées les *chapes*. Ce sont des planches d'environ 2 centimètres et demi d'épaisseur, qui couvrent entièrement chaque registre, et débordent de chaque côté de façon à recouvrir la moitié de la largeur des faux registres placés de part et d'autre. Les chapes sont fixées sur les faux registres au moyen de vis dont la tête repose sur une rondelle de cuir ou de métal. Les chapes sont donc en nombre égal à celui des registres et sont placées bord à bord.

La table, le registre et la chape présentent des trous qui se correspondent exactement; et ce sont les trous percés dans la chape qui laissent échapper le vent dans les tuyaux. Les registres, étant d'ailleurs mobiles entre certaines limites, servent à établir ou intercepter la communication entre la gravure et le tuyau.

Les trous des chapes sont fraisés extérieurement à l'aide d'un fer rouge et présentent ainsi un bord en pente sur lequel appuient les pieds des tuyaux; ceux-ci sont soutenus au moyen d'une planche percée, que l'on appelle le *faux sommier*. Cette planche est portée par un certain nombre de piliers fixés dans le sommier, et dont la hauteur est d'environ 25 centimètres.

Les tuyaux qui composent un même jeu sont pris au-dessus du même registre. Pour faciliter le placement de ces tuyaux, les trous percés dans la même chape, au lieu d'être sur une même ligne droite, sont disposés sur deux rangées parallèles et les intervalles de l'une des rangées correspondent aux trous de l'autre.

Pour les jeux composés la disposition est un peu différente. Les tuyaux qui correspondent à une même note sont placés sur une même série de trous percés sur une même ligne perpendiculaire à la longueur de la chape. Ces trous ne pénètrent qu'à la moitié de la profondeur et sont reliés par un conduit horizontal foré dans l'épaisseur de la chape à un seul et unique conduit vertical qui vient aboutir au trou du registre.

Nous ne nous sommes occupé jusqu'à présent que de la partie supérieure du sommier; passons à la partie inférieure. Pour maintenir l'écartement des barres on introduit entre elles de petits tasseaux courts en bois de fil qui sont collés et entaillés dans les barres. On leur donne le nom de *flipots*. Ces flipots sont disposés sur deux rangées au quart environ de la longueur des rgravures; ils ne pénètrent qu'à une petite profondeur dans celle-ci, afin de ne pas gêner la circulation du vent; on a soin, après les avoir collés, de dresser parfaitement le dessous du sommier. Les gravures, depuis la première rangée de flipots jusqu'à l'extrémité opposée, sont fermées au moyen d'une peau ou d'un parchemin. Ce parchemin se prolonge jusqu'à la partie antérieure du sommier, seulement il est ouvert vis-à-vis des gravures dans l'intervalle compris entre la première rangée de flipots et le commencement de la gravure: on voit donc par là que chaque gravure présente à son entrée une ouverture rectangulaire. Sur chacune de ces ouvertures appuie une soupape qui peut la fermer hermétiquement. Cette soupape est formée d'une tringle triangulaire en bois de fil aussi sec que possible, chêne ou sapin. La face de la soupape qui appuie sur l'orifice de la gravure doit déborder tout autour d'environ un centimètre; elle est garnie d'une bande de peau dont la partie lisse est collée sur le bois. Cette bande de peau se prolonge au delà de la soupape et est collée sur les flipots; elle forme donc ainsi une sorte de charnière autour de laquelle la soupape peut pivoter. Toutes ces soupapes sont renfermées dans une boîte rectangulaire ajustée sur la partie antérieure du sommier. Lorsque le sommier est en place, cette boîte forme à la base du sommier un réservoir dont la face supérieure est formée par la partie antérieure de la grille du sommier, garnie de ses soupapes. On donne à cette boîte le nom de *laye*. Le panneau antérieur de la laye peut s'enlever pour visiter et réparer les soupapes.

La laye communique avec la soufflerie par un ou plusieurs porte-vent. Pour maintenir les soupapes fermées, on place sous chaque soupape un ressort en forme de pincette dont un des bouts légèrement recourbé pénètre à une faible profondeur dans la face inférieure de la laye, et dont l'autre bout pénètre de même dans l'arête inférieure de la soupape; de plus, pour que la soupape dans ses mouvements ne puisse être déviée latéralement, on enfonce de part et d'autre, à peu de distance de son extrémité libre, deux pointes entre lesquelles elle peut monter et descendre librement; ces pointes sont ce qu'on appelle les guides de la soupape.

Le mouvement des soupapes s'effectue au moyen de tiges accrochées aux soupapes elles-mêmes et qui traversent la face inférieure de la laye. Ces tiges sont mises en mouvement par les touches du clavier à l'aide d'un mécanisme particulier que nous décrirons bientôt.

Pour éviter que le vent ne puisse passer entre les tiges qui tirent les soupapes et la paroi de la laye, on adapte à chacune de ces tiges ce qu'on appelle une boursette.

La boursette n'est autre chose qu'un petit sac de peau sans couture dont le bord est collé sur le panneau inférieur de la laye. Ce petit sac est traversé par un fil de laiton qui est passé à travers deux morceaux d'osier, l'un placé au-dessus de la boursette, l'autre au-dessous; ces deux morceaux d'osier sont fixés sur les deux faces de la boursette au moyen d'un peu de colle. Le fil de laiton est recourbé en anneau à ses deux bouts et arrêté ainsi contre l'osier. Des deux morceaux d'osier, celui qui est à l'intérieur de la laye est très-court; l'autre, au contraire, est assez long pour traverser dans toute son épaisseur le panneau inférieur de la laye, et le trou à travers lequel il passe est d'ailleurs assez large pour qu'il puisse y jouer sans frottement. Les deux anneaux de fil de laiton sont attachés, l'un à la soupape au moyen d'un crochet en laiton, l'autre à la tige qui doit tirer la soupape.

Fonctionnement du sommier. — La description du sommier étant terminée, il est facile de se rendre compte de la manière dont il fonctionne. Supposons d'abord tous les registres fermés: si l'on vient à faire ouvrir les soupapes en promenant les mains sur le clavier, le vent se précipitera dans les gravures; mais comme il n'a aucune issue, il ne fera parler aucun tuyau. Tirons maintenant un des registres de façon à établir la communication entre tous les tuyaux d'un même

jeu et les gravures correspondantes; dès que nous abaisserons une touche du clavier, la soupape correspondante s'ouvrira, et l'air, se précipitant dans la gravure, fera parler le tuyau qui correspond à la fois au jeu dont le registre est tiré et à la gravure dont la soupape est ouverte. Si plusieurs jeux ont leurs registres ouverts, les tuyaux de ces divers jeux qui sont situés sur la même gravure parleront à la fois dès qu'on abaissera la touche correspondante.

Tuyaux postés. — Les tuyaux les plus graves des divers jeux ont trop de diamètre pour qu'il soit possible de les poser sur les trous correspondants du sommier; ils auraient d'ailleurs l'inconvénient de le charger trop fortement et de le faire fléchir. On est donc obligé de les placer à distance sur un support spécial, et on les fait communiquer avec le trou correspondant par un conduit en alliage d'étain et de plomb d'une longueur plus ou moins grande. On dit alors que ces tuyaux, au lieu d'être sur leur vent, sont *postés*. Les pièces sur lesquelles on les pose sont des blocs de bois forés de trous qui contiennent le conduit destiné à joindre le tuyau au sommier; on donne à ces pièces le nom de *pièces gravées*.

Division des sommiers. — Dans les orgues de petite dimension, il n'y a ordinairement qu'un seul sommier; mais dans les grandes orgues, surtout dans celles qui renferment des jeux très-graves, il est nécessaire de donner aux gravures des basses une grande largeur; cette nécessité obligerait à donner au sommier une très-grande longueur. On préfère alors le diviser en plusieurs parties dans le sens de sa longueur. Ces sommiers sont donc placés sur le même alignement, et on laisse entre eux des passages qui permettent de visiter l'orgue et de le réparer au besoin.

On peut aussi profiter de cette disposition pour alimenter le sommier des basses et celui des dessus avec du vent à des pressions différentes; du reste, le même résultat peut être obtenu dans un sommier unique au moyen de cloisons transversales qui divisent la laye en plusieurs parties.

Altérations. — Dans les anciens sommiers, les gravures étaient longues et étroites; il en résultait que la pression de l'air à la sortie du sommier diminuait notablement à mesure que le nombre de registres ouverts était plus considérable; cet inconvénient se manifestait par une altération dans l'accord. M. Cavaillé a obvié à cet inconvénient en mettant une seconde rangée de soupapes et une seconde laye à la partie postérieure du sommier et en coupant les gravures en leur milieu par une cloison perpendiculaire à leur longueur. D'anciens sommiers ont pu ainsi être utilisés avec succès.

Cette disposition a encore un autre avantage. Supposons, en effet, que les deux layes occupent toute la largeur du sommier, de façon à ne former en quelque sorte qu'une même caisse placée sous toute l'étendue du sommier et divisée en deux parties par une cloison longitudinale. Supposons d'ailleurs que chacune des soupapes de la rangée antérieure soit reliée à la soupape correspondante de la rangée postérieure, de façon qu'il soit impossible de faire jouer l'une sans que l'autre fonctionne aussitôt. Si on introduit le vent seulement dans la laye antérieure, on aura beau mettre les mains sur le clavier après avoir tiré les registres de la région postérieure du sommier, les tuyaux des jeux correspondants ne parleront pas; mais si on vient à faire disparaître subitement la cloison qui sépare les deux layes, ou ce qui revient au même, à ouvrir de larges soupapes pratiquées dans cette cloison, les jeux de la partie postérieure du sommier dont les registres sont ouverts résonneront immédiatement, quel qu'en soit le nombre.

La figure 769 représente la coupe d'un sommier construit d'après ce système. S et S' sont les soupapes antérieures et postérieures, C la cloison qui divise les gravures, et B est la soupape qui permet d'établir la communication entre les deux layes.

Houppements. — Les orgues anciennes ne se prêtent pas à l'exécution de toute espèce de musique. Ainsi quand on tient avec l'une des mains un accord sur le clavier, et qu'avec l'autre main on frappe à plusieurs reprises un autre accord, les chocs brusques produits dans le sommier par l'écoulement intermittent du vent détruisent la continuité du son dans le premier accord et déterminent dans le son une sorte de secousse que l'on pourrait comparer à un aboiement. Cet effet, on ne peut plus désagréable, est désigné sous le nom de *houppement*. Il se présente surtout dans les instruments où les gravures sont longues et étroites, où la soufflerie est jointe aux sommiers par des porte-vent étroits et d'une trop grande longueur.

Pour éviter cet inconvénient, le meilleur moyen est de fermer le dessous des layes avec une toile imperméable ou une feuille de caoutchouc non tendue, portant sur une partie de sa surface une planche contre laquelle appuient des ressorts. On forme ainsi une paroi flexible qui amortit toutes les secousses.

Réservoirs alimentaires. — Il est également utile, pour éviter les altérations et les houppements, de placer sous les sommiers eux-mêmes des réservoirs à air dans lesquels les sommiers puisent le vent qu'ils doivent consommer. On peut ainsi, en distribuant dans toute l'étendue de l'orgue des réservoirs alimentaires, diminuer le nombre d'hommes nécessaires à la manœuvre de la soufflerie. Car la mission du souffleur se réduit alors à empêcher que l'organiste manque de vent, et en ayant soin de remplir à l'avance tous les réservoirs alimentaires, le souffleur ne se trouve pas en défaut, même lorsque, par suite de l'emploi de certains effets de grande force, qui ne durent jamais longtemps, l'organiste dépense dans l'unité de temps plus de vent que n'en fournit le travail du souffleur, car l'air emmagasiné dans la soufflerie suffit à cet excès temporaire de dépense.

MÉCANISME.

Clavier. — Les claviers d'orgue ne diffèrent pas par leur apparence extérieure des claviers de piano, seulement ils sont moins étendus, et dans les orgues d'église on ne leur donne habituellement que 54 notes; ils commencent à l'*ut* et finissent au *fa* de la cinquième octave. Le nombre de ces claviers s'élève à cinq au plus dans les instruments les plus considérables. Ils sont disposés les uns au-dessus des autres en forme d'escalier, de façon que les touches de même nom se correspondent.

Dans les anciennes orgues, les touches étaient attachées vers le milieu de leur longueur à des vergettes en bois qui tiraient les soupapes, l'extrémité postérieure de la touche servait de pivot, de sorte qu'en pesant sur l'extrémité antérieure, on abaissait les soupapes; ces claviers prenaient le nom de claviers suspendus; on y a renoncé.

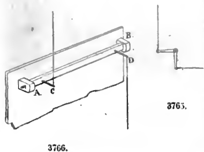
Tous les claviers dont on se sert aujourd'hui sont comme les claviers de piano, c'est-à-dire à bascule; les touches reposent par ces points intermédiaires sur un chevalet autour duquel elles peuvent basculer, de façon à prendre un certain degré d'enfoncement. Le point autour duquel la touche pivote n'est pas situé tout à fait à la moitié de sa longueur, la partie antérieure est ordinairement un peu plus longue.

Transmission du mouvement du clavier aux sommiers.

La transmission du mouvement de chaque touche à la soupape correspondante ne peut pas s'effectuer par un lien direct; en effet, la largeur des sommiers est beaucoup plus grande que celle des claviers, secondement

les notes ne sont point distribuées sur les sommiers dans le même ordre que sur le clavier. Afin de donner aux tuyaux de l'orgue une disposition symétrique, on les place successivement d'après leur numéro d'ordre, à droite et à gauche de la ligne médiane de l'orgue, en mettant les plus courts au centre et les plus longs sur les côtés. En troisième lieu, la disposition de la charpente de l'orgue, variable avec les exigences architectoniques du buffet, oblige à contourner divers obstacles pour relier les touches du clavier aux crochets des soupapes. On est donc réduit à résoudre le problème de mécanique suivant : étant donnée une tige verticale à placer en un point quelconque, transmettre le mouvement de cette tige à une autre tige *b* placée en un autre point quelconque, cette transmission s'effectue à l'aide de deux mécanismes très-simples, les *équerres* et les *rouleaux d'abrégés*. Le mécanisme des équerres est des plus simples; c'est celui qui est employé dans les appartements pour le cordon de renvoi de sonnette; il est représenté fig. 3765. Il permet de convertir un mouvement de traction vertical en mouvement horizontal, et réciproquement.

Le mécanisme des abrégés a pour effet de transporter la ligne de traction parallèlement à elle-même et à une certaine distance; il est représenté en perspective (fig 3766); il se compose d'un rouleau cylindrique AB portant deux palettes parallèles C et D implantées sur une même arête; chacune de ces palettes est en relation avec une tringle, de sorte que le mouvement de traction exercé sur la première palette est reproduit identiquement par l'autre comme si la traction s'exerçait directement sur elle, pourvu que le rouleau ne subisse pas de torsion.



3766.

3765.

Les abrégés peuvent être employés à transmettre le mouvement dans le sens vertical ou même dans le sens horizontal. Les palettes d'abrégés et les équerres sont reliées entre elles et au clavier par de minces lames de sapin de fil terminées par des crochets en laiton ; on donne à ces lames le nom de vergettes.

Dans certaines orgues les claviers sont disposés en avant de l'orgue sur un meuble en forme de console, et l'organiste tourne le dos à l'instrument. Dans ce cas la transmission du mouvement se fait de la manière suivante : quand on abaisse la touche, l'extrémité opposée au doigt se soulève, et tire une vergette verticale. Celle-ci, au moyen d'une équerre, tire une vergette horizontale située sous le plancher. Cette deuxième vergette agit sur une équerre qui tire de haut en bas une troisième vergette attachée à une palette d'abrégé. Celle-ci fait tourner le rouleau correspondant et transmet le mouvement à la douzième palette placée sur la même verticale que la soupape.

Quand le clavier est tourné en sens contraire et appliqué contre l'orgue, les vergettes ne peuvent agir que par la traction; il faut nécessairement convertir le mouvement d'ascension de l'extrémité de la touche en mouvement inverse à l'aide d'un levier intermédiaire ; on y parvient en plaçant ce levier au-dessus du clavier et reliant l'extrémité de la touche à celle du clavier par une tige intermédiaire tout à fait inflexible que l'on appelle un pilote.

Cette disposition est représentée dans la fig. 3769.

Nous ferons remarquer que dans ce système de transmission on s'arrange toujours de façon à ce que la longueur totale de l'ensemble des vergettes qui rattachent une touche à la soupape correspondante soit la même pour toutes les touches d'un même clavier, malgré la différence de parcours. C'est grâce à l'emploi des abrégés que l'on peut résoudre ce problème. Si cette condition n'était pas satisfaite, les changements de longueur qui se manifestent dans les transmissions par suite de changements dans la température et l'humidité de l'air auraient une action inégale sur les diverses touches du clavier et il en résulterait, dans les diverses parties du clavier, des inégalités de niveau qui gêneraient singulièrement l'organiste dans son exécution.

Mécanisme des registres. — La nécessité de varier les effets de l'orgue, autant que le permettent les ressources de l'instrument, oblige les organistes à avoir sous la main le moyen de tirer ou repousser à volonté les différents registres de l'orgue, de façon à utiliser les différents jeux ou les réduire au silence suivant les besoins de l'exécution. Ce résultat s'obtient de la manière suivante :

A proximité du clavier sont placées des tiges horizontales terminées par des boutons portant l'indication des jeux correspondants; ces tiges prennent le nom de tirants; chacune d'elles agit par traction directe sur une palette fixée perpendiculairement à une tige verticale tournante qu'on appelle pilote tournant. Ce pilote joue exactement le même rôle que le rouleau d'abrégé; il porte une deuxième palette qui met en mouvement une tringle, et celle-ci, par l'intermédiaire d'équerres, de tringles, et d'autres pilotes tournants, agit sur le registre.

Ce mécanisme rappelle celui qui transmet le mouvement de la touche à la soupape ; seulement, au lieu d'exercer son action dans une direction verticale, il agit dans le sens horizontal. De plus, il doit fonctionner dans les deux sens, c'est-à-dire par traction et par pression. Aussi emploie-t-il, au lieu de vergettes, des tringles rigides; il est construit assez solidement pour résister aux mouvements brusques qu'il doit subir. Enfin les leviers qui le constituent doivent être calculés de façon à rendre la course du bouton de registre beaucoup plus étendue que celle du registre lui-même, afin de diminuer la résistance que ce mécanisme offrirait à l'organiste, surtout quand les registres ont été gonflés par l'humidité.

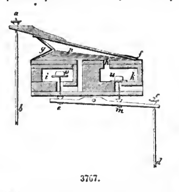
Dans le cas où le clavier est en console, on attache les tirants de registres à des leviers verticaux en fer que l'on désigne sous le nom de *balanciers*; ces leviers transmettent l'action des tirants à des tringles horizontales placées sur le plancher, et celles-ci agissent à leur tour sur le reste du mécanisme placé dans l'orgue.

Machine Barker. — Les claviers d'orgue offrent ordinairement au toucher une résistance d'autant plus forte que l'instrument a plus d'importance; en effet, l'effort que l'on doit exercer pour enfoncer chaque touche du clavier doit être proportionné à la résistance de la soupape, résistance d'autant plus grande

que la soupape a plus de surface et que l'air contenu dans le sommier est à une plus forte pression. L'effort à exercer croît encore lorsqu'on vient à réunir les claviers au moyen du mécanisme connu sous le nom d'accouplement, et dont l'effet est de mettre tous les claviers dans la dépendance d'un seul, de manière qu'en en touchant un, on les fasse fonctionner tous à la fois.

Indépendamment de l'incommodité résultant de la dureté des claviers, cet inconvénient a pour effet de limiter la puissance de l'orgue.

Aujourd'hui cette difficulté n'existe plus grâce à un mécanisme ingénieux dû à M. Barker, et dont l'application a été faite pour la première fois par M. Cavaillé-Coll dans le grand orgue de Saint-Denis. Ce mécanisme est représenté dans la fig. 3767 avec la disposition adoptée par M. Cavaillé pour l'orgue de l'église Saint-Vincent de Paul à Paris. *i* et *k* sont deux layes communiquant au moyen de deux conduits *p* et *h* avec un petit



3767.

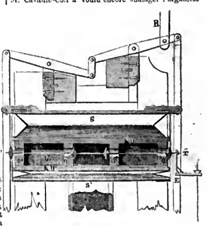
soufflet *gf*; au-dessous de cette double laye est placé un levier *lme*, auquel sont attachées en *l* et *m* deux soupapes o et *u*. L'une d'elles sert à fermer au besoin l'orifice par lequel le conduit *p* débouche dans la laye *i*; l'autre sert à fermer un conduit de décharge *e*, qui met la laye *k* en communication avec l'air intérieur. La laye *i* est en communication permanente avec la soufflerie; la tige *cd* est en relation avec une des touches du clavier, la tige *ab* avec une des soupapes du sommier. Dans l'état de repos, l'extrémité *e* du levier est relevée, la soupape *u* est ouverte, la soupape o fermée et le soufflet fermé également par son poids et l'action du ressort adapté à la soupape du sommier.

Dès qu'on abaisse la touche du clavier qui tire la tige *cd*, la soupape *u* se ferme, la soupape o s'ouvre, l'air pénètre dans le soufflet, le gonfle instantanément, et la table supérieure *fa* du soufflet tire, en se relevant, la tige *ab*. On n'a donc à vaincre, pour mettre en jeu ce mécanisme, que la pression exercée par l'air de la soufflerie sur la petite soupape o, et dès que celle-ci est ouverte, l'effort transmis à la soupape du sommier est donné par la pression que l'air comprimé exerce sur la surface du soufflet, c'est-à-dire qu'à l'aide d'une très-faible résistance vaincue on met en jeu un mécanisme dont la pression n'est limitée que par l'étendue du soufflet *ef* et la puissance de la soufflerie alimentaire. Dès qu'on vient à abandonner la touche les soupapes reviennent à leur position primitive sous l'action d'un ressort adapté au levier *lc*; l'air comprimé du soufflet s'échappe par le canal de décharge *s* et le soufflet retombe. Chaque touche du clavier fait fonctionner un appareil semblable au précédent.

Pour diminuer autant que possible l'espace occupé par ce mécanisme on divise les 54 soufflets en un certain nombre de rangées, six, par exemple, que l'on place les unes au-dessus des autres; seulement on a soin de disposer les soufflets qui forment les diverses rangées de façon que les tiges telles que *cd* et *ab* soient groupées à côté les unes des autres dans une étendue qui ne dépasse pas la largeur du clavier.

Le mécanisme Barker a, comme on le voit, pour résultat final d'emprunter à la soufflerie le travail mécanique nécessaire pour faire fonctionner les soupapes de sommiers, et l'organiste ne doit plus fournir que la force nécessaire pour mettre en jeu la détente du moteur. De cette manière on reporte sur le souffleur, dont la fonction est essentiellement automatique et inintelligente, une partie notable du travail mécanique qui incombait autrefois à l'artiste.

Moteur pneumatique. Dans la restauration complète de l'orgue de Saint-Sulpice qui s'achève en ce moment, M. Cavaillé-Coll a voulu encore soulager l'organiste



3768.

de la majeure partie du travail mécanique qui était absorbé dans le mouvement des registres (fig. 3768). A cet effet, il a appliqué à leur manœuvre des moteurs à air comprimé analogues à la machine Barker. Ces moteurs en diffèrent cependant en ce qu'ils doivent fonctionner dans un sens ou dans l'autre; la fig. 3768 en représente la disposition. S et S' sont deux soufflets reliés par des tringles verticales. Leurs mouvements sont solidaires et l'un des deux s'ouvre quand l'autre se ferme, et réciproquement. Entre ces deux soufflets sont deux layes L et L', traversées dans le sens horizontal par une même tringle T T' portant quatre soupapes. Chaque laye présente une ouverture, o, o', qui correspond avec l'air extérieur; et une ouverture, U, U', communiquant avec un porte-vent. Quand la tige TT' est poussée de T' vers T, l'air pénètre dans la laye L' et par l'ouverture U' dans le soufflet S' et le soulève; le soufflet S communique avec l'air extérieur par l'ouverture U', la laye L et l'ouverture O. Si on vient à faire passer la tige de la position extérieure vers T à la position extérieure vers T', les ouvertures O et O'' se ferment, les ouvertures O' et O'' s'ouvrent, l'air échappe du

soufflet S' et pénètre dans le soufflet S; le système des deux soufflets s'élève immédiatement. Ce mouvement suffit d'agir sur l'équerre E au moyen d'un système de renvoi de mouvement commandé par le bouton de registre. Il est évident que l'effort nécessaire est infiniment plus faible que celui qu'on devrait exercer pour tirer directement le registre.

Outre l'avantage qu'il a de rendre la manœuvre des registres plus facile, ce mécanisme permet de concentrer dans un espace très-peu étendu tous les boutons de registres, d'en diminuer considérablement la course, et enfin de remplacer le système de transmission du bouton de registre au registre lui-même par un système de vergettes, d'équerres et d'abrégés analogue à celui qui est mis en jeu par les touches du clavier. Cette amélioration est d'une utilité évidente dans les orgues d'un grand nombre de jeux dont le clavier est en console, car il permet de réduire considérablement les dimensions transversales du mécanisme qui doit passer sous le plancher de l'orgue et par suite les boutons de registres peuvent être concentrés à proximité de l'organiste.

Ce mécanisme a un autre avantage : comme il ne fonctionne que par l'action du vent, on peut tirer à l'avance les boutons des registres correspondant aux jeux dont on a besoin, et rentrer ceux qui correspondent aux jeux que l'on veut supprimer ; et si le porte-vent qui amène l'air aux moteurs pneumatiques est fermé, les registres ne fonctionnent pas; mais aussitôt qu'on vient à lancer le vent dans les moteurs en ouvrant la soupape qui ferme le porte-vent, les moteurs fonctionnent, et les registres, en se déplaçant, produisent instantanément les changements de jeux que l'on désire.

Description générale du mécanisme des orgues d'église.

Pour mieux faire comprendre l'emploi de ces divers mécanismes et d'autres mécanismes auxiliaires, nous allons les montrer fonctionnant dans un orgue de grande dimension, l'orgue de la cathédrale de Saint-Brieuc, construit par M. Cavaillé-Coll. Dans cet orgue, les jeux sont répartis sur quatre sommiers : le sommier de récit, situé à la partie supérieure de l'orgue, le sommier du grand orgue, situé dans la partie intermédiaire; le sommier de pédales, placé à la partie postérieure et inférieure de l'orgue, et le sommier de positif placé à la partie antérieure. Chacun de ces sommiers est mis en jeu par un clavier spécial (fig. 3769).

α β γ δ sont les quatre claviers, A le clavier de pédales, α est le clavier du positif, γ le clavier du grand orgue, δ le clavier du récit, β est un clavier intermédiaire à l'aide duquel on peut jouer tous les autres claviers isolément ou ensemble. Examinons d'abord le jeu des claviers isolés : lorsqu'on abaisse la touche α, son extrémité opposée se relève, soulève la tige G, agit sur l'équerre GH, et sur la tige UV, et ouvre la soupape K appartenant au sommier du positif. Lorsqu'on

3769.

de bas en haut ou de haut en bas se communique à la tringle R, qui sert à tirer ou pousser le registre.

On voit donc que pour manœuvrer cet appareil il

abaisse la touche γ, son extrémité opposée pousse un pilote qui agit sur le point c', fait basculer le levier c' l, abaisse le point l, et tire à l'aide de la

vergette *ls* la soupape *s* placée dans le sommier du grand orgue; la même vergette, par l'intermédiaire des deux équerres et de la vergette horizontale PQ tire la soupape S' placée dans le deuxième laye du grand orgue. La touche *d* appartenant au clavier du récit agit par son extrémité sur un pilote qui fait basculer le levier *c''l'* qui tire sur la vergette attachée à l'équerre l'', laquelle, par l'intermédiaire de la deuxième équerre Q' tire la soupape S'' appartenant au récit.

Le clavier de pédales A agit sur le levier 1 2, sur les équerres 3 et 4 et de là sur la soupape 5 placée dans le sommier de pédale.

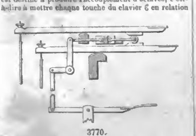
Le clav. r 𝔈 agit sur le moteur Barker par la tringle verticale *c*, le levier CD, la tringle *pd*, les leviers *ps* et *sr* et la tringle *zy*; dès que la touche 𝔈 est abaissée l'air entre dans le soufflet *w* qui tire la tringle verticale *we*. Cette tringle traverse trois leviers *en*, *om*, *eg*; elle porte trois écrous placés au-dessous de chacun des leviers; dès que la tringle est tirée de bas en haut, elle agit donc sur chacun de ces leviers, et chacun d'eux, par son extrémité opposée, fait mouvoir la tige qui transmet l'action d'un des claviers au sommier correspondant. Ainsi l'extrémité n du levier *us* tire la soupape du récit, l'extrémité *m* du levier *om* tire la soupape du grand orgue, et dans le levier *gf* le point *f* en s'inclinant tire la touche a et par suite la tringle G qui agit sur le sommier du positif. Pour que chacun de ces leviers fonctionne il faut, de toute nécessité, qu'il y ait contact entre le levier et l'écrou correspondant. On peut donc empêcher chaque levier d'avoir son action en soulevant les pièces I et K qui portent le centre de rotation des deux premiers leviers, et en abaissant la pièce *g* qui porte celui du troisième. Tel est en effet l'état habituel de ces leviers. Dans cette situation les écrous peuvent jouer au-dessous des extrémités e et o des leviers sans les toucher.

Quant à l'écrou *e*, il fait jouer le levier *efg*; mais le centre *g* du levier étant abaissé, la tige *f* tombe librement à travers l'extrémité de la touche a, et l'écrou qui termine cette tige manœuvre au-dessous de la touche sans la faire mouvoir.

Chacune des pièces *ikq* peut être mise en mouvement au moyen d'une pédale spéciale, qui accouple ainsi chacun des claviers avec le clavier intermédiaire 𝔈.

Nous n'avons décrit que le mécanisme correspondant à l'une des touches de chaque clavier: mais il est bien évident que ce même mécanisme se reproduit pour chaque touche et qu'il y a, par exemple, au lieu d'un seul levier en *us*, 54 leviers placés côte à côte et tournant autour d'un même axe soutenu par une même tringle horizontale dont *i* représente la section.

Accouplement d'octaves. — Le système de levier *qrt* est destiné à produire l'accouplement d'octaves, c'est-à-dire à mettre chaque touche du clavier 𝔈 en relation



3770.

avec l'octave grave de cette même touche. En effet, le levier *rq*, quoiqu'il paraisse dans le plan de la figure, est disposé obliquement dans un plan horizontal; l'extrémité r correspondant à une certaine touche, l'extrémité *q* atteint la tige qui est commandée par l'octave de cette même touche. L'axe de rotation des leviers tels que *rq* est mobile à l'aide d'une pédale, et on peut, en abaissant cette pédale, déplacer ce centre de façon à mettre tous les leviers en prise.

Accouplement de claviers dans les petites orgues. — Cet accouplement se fait, comme le montre la figure 3770 ci-jointe, au moyen de galets qu'une pédale fait engager entre les touches correspondantes des deux claviers superposés.

DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'ORGUE.

Buffet. — L'orgue est ordinairement renfermé dans un meuble en menuiserie qui prend parfois les proportions d'un véritable édifice, et qu'on appelle le *buffet*. Dans les orgues de petites dimensions le buffet est une simple enveloppe destinée à protéger et cacher le mécanisme de l'instrument sous un vêtement dont l'ornementation est en rapport avec l'architecture du lieu auquel l'orgue est destiné. Dans les grandes orgues, au contraire, le buffet prend un aspect monumental, et les tuyaux mêlés aux bois sculptés donnent à la décoration un caractère à la fois grandiose et harmonieux qui convient à un instrument dont la sonorité majestueuse doit ajouter à la pompe des cérémonies du culte.

Seulement il arrive fréquemment que les architectes, préoccupés avant tout de l'effet artistique du buffet, ne s'astreignent pas aux conditions qui peuvent assurer l'effet acoustique de l'instrument et faciliter l'installation de son mécanisme. Souvent le buffet est placé trop haut et l'orgue, resserré dans une chambre de prière placée au-dessus du porche de l'église, n'a pas autour de lui l'espace nécessaire pour laisser échapper sans obstacle les ondes sonores dont il est le centre. Souvent aussi la face antérieure de l'orgue obstruée par de lourdes frises, d'épais entablements, ou des statues accumulées devant la façade, empêche la libre sortie des sons. Souvent encore les tuyaux qui ornent la partie antérieure du buffet, ou *tuyaux de montre*, au lieu de présenter une grande variété dans leurs longueurs et leurs diamètres, sont tous d'une dimension à peu près uniforme, ce qui oblige à en laisser en pure perte un certain nombre à l'état de tuyaux muets, ou bien à détruire l'égalité de certains jeux en introduisant parmi les tuyaux qui les composent un certain nombre de tuyaux de mauvaise proportion.

Voici quelle est ordinairement la disposition du buffet des grandes orgues et comment les diverses parties du mécanisme sont installées à l'intérieur. La façade du buffet est divisée généralement en un certain nombre de parties appelées plates faces où les tuyaux de montre sont simplement juxtaposés; entre les plates faces sont les tourelles composées de tuyaux disposés en faisceaux sur une base semi-circulaire ou triangulaire. Le buffet est ordinairement composé de deux parties: le grand buffet, qui contient les sommiers du grand orgue, du récit de la pédale; et un buffet plus petit suspendu sur un encorbellement en avant de la tribune de l'orgue. Ce buffet est le buffet de positif; il renferme un sommier dont les jeux correspondent au clavier inférieur de l'orgue ou clavier de positif. Dans les orgues ainsi disposées, les claviers sont appliqués contre la face inférieure du grand buffet, et l'organiste pour les toucher est obligé de tourner le dos à l'autel. Le buffet de positif sert donc à masquer l'organiste.

Dans beaucoup d'orgues modernes le buffet de positif est supprimé; les jeux correspondants sont répartis à l'extérieur de l'orgue; ce clavier est alors placé sur une console et l'organiste fait face à l'autel. Quelquefois aussi le clavier est placé sur l'un des côtés de l'orgue.

Les sommiers sont répartis dans le buffet du grand orgue à diverses hauteurs ; au centre sont les sommiers du grand orgue ; à droite et à gauche les sommiers de pédales ; au-dessus et dans la partie centrale de l'orgue les sommiers du récit. Ce dernier est enfermé dans une boîte en bois présentant à sa partie antérieure une jalousie à lames mobiles, qui peut s'ouvrir ou se fermer à l'aide d'une pédale placée à la disposition de l'organiste. Lorsque la jalousie est fermée, le son des jeux du récit est considérablement affaibli, et son intensité augmente à mesure que la jalousie est plus largement ouverte ; c'est ce qui permet de produire dans les orgues modernes les effets de crescendo et de decrescendo qui constituent l'expression. LISSAJOUS.

V

VÉLOCIPÈDE. On a souvent inventé sous ce nom, ou sous des noms différents, des appareils propres à transporter une personne par les efforts musculaires qu'elle développe en faisant tourner les roues d'une petite voiture dans laquelle elle est placée. Bon nombre de semblables dispositions sont illusoires ; mais dans quelles limites, dans quelles conditions peut-on espérer des résultats favorables ? C'est un point parfaitement traité dans un excellent rapport fait par M. Callon à la Société d'encouragement, et nous ne saurions mieux faire que de le reproduire ici.

Lorsqu'un homme chemine sur un plan horizontal, il n'y a point de travail mécanique apparent, en ce sens que le centre de gravité de l'homme se retrouve à la fin de la marche à la même hauteur qu'au commencement.

Néanmoins on conçoit qu'à chaque pas le centre de gravité s'élève d'une petite quantité. Le travail résistant qui en résulte n'est point compensé par le travail moteur développé lorsque le centre de gravité redescend, et, au moment où le pied porté en avant vient poser sur le sol, il se perd, par une destruction brusque de la vitesse acquise, malgré l'élasticité des membres inférieurs, une certaine quantité de force vive. On peut donc penser que le système de locomotion dont la nature nous a doués, quelque admirablement qu'il soit disposé pour s'adapter à des circonstances variées de nature de terrain, de pente, etc., puisse être remplacé avec avantage, sur un sol convenablement nivelé et approprié, par un moyen mécanique dans lequel la force de l'homme sera employée en évitant l'inconvénient qui vient d'être signalé.

Cette considération peut être soumise au calcul d'une manière très-simple.

Soit T la quantité d'action journalière qu'un homme pourra produire en agissant sur le récepteur dont le véhicule sera muni ;

t la durée de cette action ;

P le poids de l'homme ;

P' la charge qu'il transporte avec lui ;

Q le poids du véhicule ou poids mort ;

f le rapport de l'effort de traction ou *tirage* à la charge transportée, rapport essentiellement dépendant de la nature et de l'état d'entretien de la voie parcourue ;

l l'espace journalier parcouru ;

V la vitesse de translation obtenue.

On a évidemment :

$$l = V \times t$$
$$T = f(P + P' + Q)\, l = f(P + P' + Q)\, V\, t.$$

Supposons qu'on emploie le travail de l'homme le plus avantageusement possible, c'est-à-dire en faisant travailler les muscles des jambes à peu près de la même manière que lorsqu'un homme monte un escalier, en agissant sur une roue à marches ou à chevilles ; résultat qui peut être obtenu au moyen d'un double système de pédale ou de quelque autre mécanisme équivalent ; alors le travail journalier s'élève à 280,000 kilogrammètres environ, qui seront produits en 8 heures ou en 28,800''.

La valeur de f, qui est l'élément essentiel à considérer, peut être évaluée comme suit :

Sur un chemin de fer à grande section avec une voie et un matériel bien entretenus. 0,005

Sur un chemin de fer analogue aux chemins de mines ordinaires. 0,01

Sur une chaussée empierrée entretenue. . . 0,02

Idem en état ordinaire d'entretien. 0,03

Idem en médiocre état d'entretien. 0,07

Sur une chaussée empierrée nouvellement chargée. 0,12

Le poids de l'homme peut être évalué à 65 kilog. ; celui du véhicule pourra être difficilement inférieur à 100 ou 150 kilog.

Au moyen de ces données, en supposant que l'homme n'ait d'abord à transporter que son propre poids, puis, qu'il ait à transporter avec lui des charges de 40 et 100 kilog., on formera les trois tableaux suivants :

Rapport du tirage au poids total transporté. Valeur de f.	Espace parcouru dans la journée.	Vitesse du transport V.	Effet utile obtenu P' × l.
I. Soit P' = 0 Q = 100 kil.			
	m.	m.	
0,005	315450	10,94	0
0,01	157675	5,47	0
0,02	78840	2,74	0
0,03	52525	1,82	0
0,07	22514	0,78	0
0,12	13131	0,45	0
II. Soit P' = 40 kil. Q = 150 kil.			
0,005	203922	7,08	8156880
0,01	101864	3,54	4078140
0,02	50930	1,77	2039220
0,03	33987	1,18	1359280
0,07	14566	0,51	582640
0,12	8497	0,29	339880
III. Soit P' = 100 kil. Q = 150 kil.			
0,005	165079	5,70	16507900
0,01	82540	2,85	8254000
0,02	41270	1,43	4127000
0,03	27513	0,96	2751000
0,07	11794	0,41	1179100
0,12	6896	0,24	689600

D'un autre côté, on peut admettre qu'un homme cheminant sans charge sur une route bonne ou passable peut faire dans une journée de marche environ

40 à 50 kilomètres, et qu'avec un fardeau de 40 kilogrammes, charge ordinaire des porte-balles, il peut faire environ 20 kilomètres. La charge de 40 kilog. peut, d'ailleurs, être difficilement dépassée quand il s'agit d'une distance un peu grande. C'est le double de la charge du soldat en marche.

De l'ensemble des chiffres ci-dessus résultent immédiatement les conséquences suivantes :

1° Malgré l'influence du poids mort du véhicule, le système dont nous nous occupons présente un avantage énorme pour le transport d'un homme sans charge sur un chemin de fer, et l'expérience est d'accord sur ce point avec la théorie. De petits appareils mus avec des manivelles sont employés avec succès sur plusieurs chemins pour le transport d'une ou deux personnes. Cet avantage est encore très-notable sur une route très-bien entretenue, abstraction faite, toutefois, de la question des pentes que présente souvent la circulation sur des routes ordinaires. Il se réduit à peu de chose sur une route en état ordinaire d'entretien. Enfin, il est nul et même *négatif* sur une route en état médiocre, et à plus forte raison sur une chaussée nouvellement rechargée.

2° Les mêmes circonstances à peu près se reproduisent lorsque l'homme doit transporter avec lui une charge d'une quarantaine de kilogrammes.

3° Enfin le système dont il s'agit permet le transport d'une charge notablement supérieure à 40 kilog., nombre qui est à peu près la limite lorsqu'il s'agit de transport à dos à une distance notable.

VENTS. Les vents sont dus aux variations de température occasionnées par la présence plus ou moins prolongée du soleil au-dessus de l'horizon et de sa distance à la terre suivant la saison ; sans doute aussi les attractions solaires et lunaires sont une cause des mouvements atmosphériques, comme nous l'avons indiqué à l'article BAROMÈTRE ; mais la science n'est pas encore parvenue à mettre en lumière cet élément du phénomène, tandis que le premier rend déjà compte d'un fait capital.

Dans la zone torride, où l'action calorifique du soleil sur la surface de la terre est à son maximum d'intensité, l'échauffement continuel de l'atmosphère donne lieu à des vents réguliers connus sous le nom de *vents alisés*.

Il est aisé, dit M. Delaunay dans son *Cours élémentaire d'astronomie*, de se rendre compte de la production de ces vents, ainsi que des circonstances qu'ils présentent.

L'air qui se trouve près de la surface de la terre, dans le voisinage de l'équateur, acquiert une température assez élevée ; il se dilate, et tend à monter dans les régions supérieures de l'atmosphère, en raison de la diminution de sa densité. L'air échauffé ne peut pas s'élever ainsi sans qu'il soit remplacé constamment par de l'air plus frais, venant de contrées placées à une certaine distance de l'équateur, de part et d'autre de cette ligne ; d'ailleurs, l'air qui s'est élevé à l'équateur même se refroidit dans les régions supérieures de l'atmosphère, et se déverse de là sur les zones tempérées pour y combler le vide provenant de ce que l'air qui s'y trouvait s'est porté vers l'équateur. Il en résulte qu'il se produit dans l'atmosphère et tout autour de la terre un double mouvement de circulation, qui est constamment entretenu par la chaleur solaire.

Jusque-là, il semble que l'action calorifique du soleil doit déterminer, près de la terre, un vent venant du nord pour les contrées situées à une certaine distance de l'équateur, dans l'hémisphère boréal, et un vent du sud pour les contrées situées de l'autre côté de l'équateur. Mais il faut observer que le mouvement de rotation de la terre doit avoir une certaine influence sur le phénomène. L'atmosphère tourne en même temps que la terre : et, dans ce mouvement, ses diverses parties sont animées de vitesses plus ou moins grandes, suivant qu'elles correspondent à telle ou telle portion de la surface de la terre, puisque les rayons des cercles décrits par les différents points de cette surface, dans l'espace de 24 heures sidérales, varient avec les latitudes de ces points.

L'air qui se trouvait dans le voisinage d'un parallèle quelconque dans l'hémisphère boréal ou dans l'hémisphère austral, et qui avance vers l'équateur, possède une vitesse de rotation plus petite que celle des points de la terre dont il se rapproche ; arrivé près de l'équateur, il marche moins vite qu'il ne devrait le faire pour suivre la terre dans son mouvement ; il est en retard par rapport à elle, et pour un observateur qui est emporté par la terre dans sa rotation, il doit paraître se mouvoir en sens contraire de ce mouvement, c'est-à-dire de l'est vers l'ouest.

C'est ce qui arrive en effet. Les vents alisés dans le voisinage de l'équateur soufflent de l'est. Au nord de l'équateur, l'excès de la vitesse de la terre sur la vitesse de l'air se combine avec le mouvement en vertu duquel l'air se transporte vers l'équateur, et il en résulte un vent soufflant du nord-est. De même, au sud de l'équateur, les causes que nous venons de signaler engendrent un vent soufflant du sud-est.

Arrivé à l'équateur, l'air s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère, pour retourner dans les zones tempérées. Mais le séjour plus ou moins long qu'il a fait dans le voisinage de l'équateur lui a fait prendre peu à peu un mouvement de rotation plus rapide que celui qu'il possédait d'abord ; lorsqu'il retombe sur la surface de la terre dans les zones tempérées, il marche plus vite que les continents avec lesquels il se met en contact ; cet excès de vitesse et le mouvement en vertu duquel l'air s'éloigne de l'équateur se combinent pour donner lieu à un vent qui souffle du sud-ouest dans la zone tempérée boréale, et du nord-ouest dans l'autre zone tempérée. Ce retour des vents alisés n'est sensible qu'à d'assez grandes distances de l'équateur. Dans l'île de Téneriffe, dont la latitude est de 28 degrés, on ne peut en reconnaître l'existence qu'en s'élevant à une grande hauteur sur le pic de ce nom ; plus loin de l'équateur il devient sensible au niveau de la mer.

C'est au retour des vents alisés qu'est due cette circonstance, que le vent, à Paris, souffle plus souvent du sud-ouest que de toute autre direction. Mais, dans les zones tempérées, les vents réguliers dont nous nous occupons sont bien moins sensibles que près de l'équateur ; ils sont en grande partie masqués par les vents irréguliers qui existent dans ces contrées.

Ce sont les lois les plus générales de ces vents secondaires, dus surtout à l'action locale du soleil, en raison de l'étendue des terres, des mers, de l'élévation des montagnes, du voisinage du pôle, etc., pour chaque contrée et par suite d'un échauffement variable, qu'il faudrait analyser aujourd'hui. Il serait temps que la météorologie fît quelque chose de plus que l'analyse des vents alisés, et c'est à peu près tout ce que l'on sait faire aujourd'hui avec celles des brises de la côte qui soufflent le jour de la mer vers la terre et le soir de la terre vers la mer, par suite du moins rapide échauffement ou refroidissement de l'air placé sur l'eau que de celui qui est au-dessus de la terre. Un ardent hydrographe américain, M. le lieutenant Maury, s'est lancé courageusement dans la voie de l'étude simultanée des vents et des courants, et à cet effet a entrepris de relever les marches de tous les navires qui traversent l'Océan. A attaquer le problème dans son ensemble, le rendant même encore plus complexe en y ajoutant même les qualités propres à chaque navire, il est douteux que l'on puisse arriver à un autre résultat qu'à l'indication d'une faible probabilité des meilleures routes

pour chaque saison, résultat, en reste, d'une immense importance pour la navigation à la voile, c'est-à-dire pour celle qui sera toujours le moyen de transport économique par excellence, puisqu'elle emploie une puissance motrice fournie gratuitement par la nature.

Nous avons indiqué à l'art. RÉSISTANCE DE L'AIR, les principes qui permettent de calculer approximativement le travail de propulsion du vent agissant sur les voiles des navires. Nous compléterons ces renseignements en donnant les vitesses approchées des vents dont nous distinguons assez bien les divers degrés par les sensations qu'ils nous font éprouver.

DÉSIGNATION.	Vitesse par seconde en mètr.	Vitesse par heure en kilomètres.	Pression exercée sur 1 mètre carré.
Vent seulement sensible.	1	3,60	kil. 0,20
Vent modéré (légère brise)	2	7,2	0,54
Vent frais en brise (tend bien les voiles)	6	21,6	4,87
Vent le plus convenable aux moulins (jolie brise)	7	25,2	6,64
Bon frais, très-bon pour la marche en mer	9	32,4	10,94
Grand frais, fait serrer les hautes voiles.	12	43,2	19,50
Vent très-fort . . .	15	54,0	30,47
Vent impétueux. . .	20	72,0	54,16
Tempête	27	97,0	98,47
Ouragan	36	129,6	176,96
Ouragan qui renverse les édifices. . . .	45	162,0	277,87

VERRERIES. Nous n'aurions rien à dire au sujet de ces produits dont l'histoire et la technologie ont été données d'une manière très-complète à l'article VERRE dans la 2e édition de ce Dictionnaire, si l'enquête relative au traité de commerce avec l'Angleterre n'avait mis récemment entre nos mains des documents intéressants sur les industries de la glace, du verre à vitres, du verre à bouteilles, du cristal et de la gobeleterie. Nous allons présenter ici d'une manière sommaire quelques-uns des principaux résultats que l'enquête a dévoilés.

Verre à glaces. — L'industrie française engagée dans les glaces représente un capital de plus de 50 millions, bien près de 60 millions; elle occupe plus de 5,000 ouvriers, rien que pour la fabrication immédiate des glaces, sans compter toutes les industries qui s'y rattachent. Il y a donc là une question considérable de fabrication et d'industrie nationale.

La France figure pour une portion assez notable dans le commerce de l'Europe. Une partie de notre exportation a lieu directement, en bloc; mais une partie assez notable est comprise dans les cargaisons qui partent pour l'Amérique du Sud, pour les parages de la Méditerranée et pour d'autres pays du globe. Depuis longtemps, la renommée des glaces françaises, leur réputation de solidité, de beauté, de limpidité, les a fait rechercher dans les pays étrangers; elles sont devenues un élément de commerce qui entraîne à sa suite un travail assez considérable, celui de la dorure, de la miroiterie, et aujourd'hui, au prix où sont les glaces, le cadre et la miroiterie sont quelquefois souvent égaux à la valeur du verre; il entraîne le travail des meubles, celui de l'ameublement en général, et quelquefois de la scierie.

Les manufactures de Saint-Gobain et de Cirey sont montées pour fabriquer annuellement 200,000 mètres de glaces polies de toutes qualités. On peut évaluer à 100,000 mètres la production des autres fabriques. Il en résulte que la consommation française peut avoir à sa disposition, tous les ans, un chiffre de 300,000 mètres carrés de glaces polies de toutes espèces.

D'après M. Chevandier de Valdrôme, il reste entre la fabrication et la consommation une différence d'un tiers, soit 100,000 mètres. Sur ces 100,000 mètres excédants, on exporte, bon an mal an, en moyenne, 40,000 mètres, mettons 45,000; il reste 55,000 mètres carrés de glaces, qui sont fabriqués sous l'influence d'une concurrence active. Les prix, en France, ont donc dû considérablement baisser; il n'est cependant pas impossible de chercher dans une nouvelle baisse de prix une augmentation de consommation. Si on remonte à vingt ans en arrière, et si, laissant de côté l'échafaudage des tarifs, on prend les prix vrais payés par les marchands miroitiers, on trouve qu'aujourd'hui les prix sont de 60 p. 100 plus bas qu'il y a vingt ans, de 46 p. 100 plus bas qu'il y a dix ans, de 32 p. 100 plus bas qu'il y a cinq ans. Enfin, ces prix sont plus bas que ceux de l'Allemagne; ils sont à peu près pareils aux prix auxquels se vendent les glaces dans les autres pays. Cette circonstance interdit ainsi en France une exubérance de production dépassant les besoins de la consommation et du commerce; c'est à ce même prix que se vendent aujourd'hui les glaces en Angleterre et en Belgique.

D'après les données statistiques fournies par les industriels appelés à l'enquête, il faudrait pour fabriquer un mètre de glace, en Belgique, pour

Fondre, 188 kilog. de houille à 13 fr. 25. . .	fr.	2,38
Doucir, 77 } Polir, 118 } 195 kilog. de houille à 8 fr. 58. .		1,65
		4,03

en France, la valeur du combustible, cet élément important du prix de revient, est beaucoup plus élevée :

On a déclaré, par exemple, qu'il fallait, pour :

	Saint-Gobain.	Cirey.	Montluçon.
Fondre, 180 k. houille à . . .	3,96	4,96	3,18
Doucir et polir, 195 k. houille.	2,94	3,70	2,36
	6,90	8,66	5,54

Si l'on complète le prix de revient par le coût des produits chimiques, du sable, de la craie et de la poterie, en ajoutant celui de la main-d'œuvre, on peut estimer qu'un mètre de glace polie coûte

à Sainte-Marie-d'Oignies (Belgique). fr.	17, 54
à Recquignies (Nord).	20, 34
à Saint-Gobain (Aisne).	21, 64
à Cirey (Meurthe).	23, 97
à Montluçon (Allier).	21, 85

Si l'on tient compte des intérêts des capitaux engagés, on voit le prix de revient du mètre carré s'élever à 27 ou 28 fr. Le mètre de glace se vend à Paris en moyenne de 34 à 35 fr. En tenant compte de la dimension, les habitudes du commerce ont établi des prix différents; ainsi

la glace de 0m.50	vaut environ	27 fr.	le mètre carré.
celle de 1m.	—	34	—
celle de 2m.	—	39	—
celle de 3m.	—	44	—
celle de 4m.	—	47	—
celle de 5m.	—	50	—

Verre à bouteilles. — M. Péligot a résumé, comme il suit, l'importance commerciale de cette fabrication.

« On fabrique annuellement en France 60 millions

de kilogrammes de bouteilles, dont la valeur représente 8 à 10 millions de francs; l'exportation des bouteilles vides et pleines a été :

En 1858, de 23,138,381 kilog.

En 1859, de 27.501,406 kilog.

Cette fabrication est également importante en Angleterre pour les liquides gazeux; elle est très-considérable dans tous les pays vinicoles.

« Les verreries à bouteilles de la Belgique produisent annuellement 8 millions de bouteilles de toutes espèces, dont le prix de revient est en moyenne de 11 fr. le cent. d'après M. Houtart-Roullier, et dont le prix de vente est de 13 fr.

« La fabrication en France est soumise à la concurrence la plus active. Elle tend à se concentrer sur les bassins houillers du Nord et de la Loire. Le prix de revient dans le Nord est de 14 fr. et le prix de vente de 16 à 17 fr. le 100 de bouteilles prises en fabrique.

« A Rive-de-Gier, elles reviennent à 14 fr.; on les vend à raison de 13 fr.; le combustible, la main d'œuvre et les matières premières entrent à peu près pour des parts égales dans les prix de revient. Dans les environs de Soissons les bouteilles dites forme champenoise reviennent à 18 fr. 40; elles se vendent 22 fr. »

La fabrication du centre de la France semble ne rien avoir à redouter de la concurrence étrangère. Une forte agglomération des verreries du centre concentrées dans la même administration peut lutter par suite de sa position sur la houille et de la quantité considérable des produits dont elle peut assurer le placement; la même compagnie compte en effet 30 fours de fusion en travail ou prêts à fonctionner, savoir :

A Rive-de-Gier.	20
A Givors.	9
A Vienne	1

Ces 30 fours sont employés :

A la fabrication de bouteilles.	22
Aux verres à vitres ordinaires.	3
A la gobeleterie	2
Aux verres à vitres de couleur	2
A la topetterie.	1

Cette même compagnie a vendu pendant l'année 1859-1860 pour 4,900,000 fr. répartis ainsi qu'il suit, d'après M. Raabe, successeur de MM. Hutter et Cie :

en bouteilles.	3,273,000 fr.
en verres à vitres ordinaires. . .	927,000
en gobeleterie.	446,000
en verres à vitres de couleur. .	200,000
en topetterie.	34,000
	4,900,000

Les chiffres qui suivent, empruntés à la déposition de M. Raabe, et pris dans ses comptes pour l'exercice 1859-1860, complètant les documents qui conduisent aux détails du prix de revient. On a employé pour fabriquer les 4,900,000 francs de produits vendus :

Bois de chauffage rendu à raison de fr.	le stère 15,00	3,704 st.
Arsenic rendu à l'usine au prix de fr.	les 100 kil. 38,20	3.900 kil.
Carbonate de chaux (Feus). .	2,35	124,750 kil.
Manganèse (Romanèche). . .	46,45	38,860 kil.
Molasse (Seyssel).	1,30	1,440,860 kil.
Nitrate de soude (Havre). . .	47,55	8.000 kil.
Sable clair à bouteilles (Rhône).	0,60	17,139,220 kil.
Sable noir (Rhône).	0,55	2,362,400 kil.
Sable fondant (Santheney). .	1,85	2,941,435 kil.
Sable verre à vitres (Vezeaux).	1,90	1,757,980 kil.
Sable à gobeleterie (Fontainebleau).	2,50	659,830 kil
Sable à briques (Voreppe). . .	3,50	590,730 kil.
Spath fluor (Digoin)	4,50	178,840 kil.

	les 100 kil.	
Sulfate de soude (Lyon). . . .	49,60	1,333,525 kil.
Sel marin (Miramas)	12,40	572,800 kil.
Sel de soude 80° à 92°. . . .	48,50	219,856 kil.
Terre à creusets (Bollène). . .	2,85	1,179,630 kil.
Terre à creusets (Salavas). . .	5,35	175,040 kil.
Terre à creusets (Courpières).	5,00	229,630 kil.
Houille de Villars.	1,35	72,000,000 kil.

Avec une consommation comme celle que nous venons d'énumérer, on comprend toute l'importance de la fabrication et la sécurité que les fabricants du centre peuvent avoir sur leur avenir.

En est-il de même pour la fabrication du Nord qui se trouve à la porte de la Belgique? La Belgique possède douze verreries à bouteilles admirablement placées pour le combustible et la main-d'œuvre ; le prix moyen du charbon, dans le nord en France, qui vaut 1 fr. 70 les 100 kil., ne s'élève en Belgique qu'à 11 ou 12 fr. 50 la tonne. On peut répartir le prix de revient de la manière suivante :

Combustible	25
Main-d'œuvre	45
Matières premières.	25
Frais généraux	5
	100

Le combustible et la main-d'œuvre affectent donc d'une manière notable le coût du verre façonné sous forme de bouteilles.

Verre à vitres. — De même que la fabrication des bouteilles, la fabrication des verres à vitres, exigeant une grande consommation de combustible se trouve désormais concentrée sur les bassins houillers. Elle s'est développée d'une manière considérable dans le nord de la France, à Rive-de-Gier; en Belgique, à Charleroy; en Angleterre, à Birmingham, aux environs de Liverpool, à Sunderland, etc.

Pour donner une idée de la puissance de production que possède l'Angleterre, nous rappellerons qu'en 1851 MM. Chance frères, de Birminghom, ont fondu, sans interrompre leur fabrication courante, pour le Palais de cristal, 5 à 6 millions de kilogrammes de verre pour couvrir une surface de 92,000 mètres carrés.

On admet que pour fabriquer 100 kilogrammes de verre à vitres, dans l'état actuel de la fabrication du verre, il faut :

		En France (Nord).	En Belgique.	En Angleterre.
	par tonne. fr.			
600 k. de houille à	16,86. .	10,11	»	»
	11,00. .	»	6 60	»
	7,50. .	»	»	4,50
	par 100 kil. fr.			
30 k. sulfate de soude, à. . .	22,70. .	6,81	»	»
	13,00. .	»	3,90	»
	10,00. .	»	»	3,00
	par tonne. fr.			
30 k. calcaire, à.	19,50. .	0,58	»	»
	10,00. .	»	0,30	»
	20,00. .	»	»	0,60
Terres réfractaires, creusets, fours, etc. . . .		2,00	1,50	1,00
Main-d'œuvre et emballage. . .		20,50	20,50	20,50
		40,00	32,80	29,60

La fabrication des verres à vitres de couleur a pris aujourd'hui chez nous une extension considérable; on la pratique avec un égal succès en Angleterre comme en Belgique. Tantôt les verres sont teints dans la masse; d'autres fois ils sont simplement doublés. Leurs prix sont variables; mais on peut admettre d'a-

près les données fournies par les manufactures de Rive-de-Gier, que, terme moyen, les 100 kil. de verre teint dans la masse valent de 125 à 130 francs, et que les verres doublés valent de 250 à 300 francs.

On fabrique actuellement en Angleterre sur une échelle considérable, sous le nom de *patent-glass*, une sorte de verre à vitre double que l'on soumet aux diverses opérations du polissage des glaces. C'est un verre dont la fabrication tend à se répandre en France.

On doit à M. Binet, verrier à Sèvres, un moyen ingénieux qui permet de préparer les manchons de verre ordinaire pour le polissage.

Le verre soufflé par les anciens procédés sous forme de manchons est étendu sur la sole du four. Lorsque la surface est bien dressée, un plateau de terre cuite, qu'on fait descendre de la voûte du four, vient s'y appliquer pour faire disparaître les ondulations. On économise par ce simple appareil une grande partie des frais du polissage; il détruit promptement les ondulations plus ou moins profondes qui déformeraient les images réfléchies ou les objets vus par transparence.

Gobeleterie. — La gobeleterie ordinaire, nommée demi-cristal, est un verre à base de soude d'une fabrication soignée, intermédiaire entre le cristal et le verre commun. Cette fabrication, importante aujourd'hui, s'exerce en France dans 70 usines; elle est desservie par une centaine de fours; elle occupe 20,000 ouvriers, et jette dans la circulation pour environ vingt millions de produits de toutes sortes.

Voici, d'après M. Godard-Desmarets, propriétaire de la verrerie de Trelon, le prix de revient d'une potée de 250 kilog. : on a mis en regard le prix de la même quantité de produits fabriqués en Belgique avec une cuisson au charbon de terre.

		France. fr.	Belgique. fr.
Sable	200 kil.	5,00	1,40
Souda	66,66	34,10	23,33
Chaux	50,00	2,50	1,50
Décolorants	»	1,00	1,00
Houille	»	»	13,80
4 st. de bois	»	24,00	»
Séchage	»	1,20	»
Poterie		9,00	7,20
Façon des verreries		13,00	23,00
Main-d'œuvre accessoire		15,00	13,30
Frais généraux		11,00	11,00
Rendement	250 kil.	125,80	93,73
Pour 100 kilog.		50,32	38,29

Cristal. — La fabrication du cristal en France représente une valeur de 7 à 8 millions de francs; les deux cristalleries de Baccarat et de Saint-Louis ont été pendant de longues années seules à satisfaire à la consommation intérieure. Mais il leur est fait maintenant une concurrence sérieuse par un certain nombre d'usines établies à Clichy, à Bercy, à Lyon; ces usines fournissent environ le quart de la production du pays.

Le goût qui distingue les produits français leur assure un débouché certain pour tous les objets de luxe. Quant aux articles courants pour lesquels la matière a sur le prix une influence que le goût ne compense pas, les produits français ne pourraient lutter à l'étranger ni avec les produits anglais, ni avec les produits belges, ni avec les verres de Bohême.

L'exportation des cristaux français est depuis longtemps stationnaire; la moyenne décennale de 1846 à 1856 a été de 783,350 kilog.; on en a exporté en 1858, 892,491 kil., et en 1859, 743,879 kil.

Cherchons à déterminer le prix de revient dans cette fabrication, d'après M. Godard de Baccarat.

Quelle est la quantité de matières premières qu'on doit consommer pour produire 100 kilogrammes de cristal uni, dépontillé?

La composition du cristal généralement admise, sauf les variations résultant des usages spéciaux de chaque fabrique, est 3 de sable, 2 de minium et 1 de potasse.

On emploie, pour obtenir 100 kilogrammes de cristal vénal, 144 kilogrammes de matières, qui se décomposent ainsi :

Sable	72 kilogrammes.
Minium	48
Potasse	24

Ces 144 kilogrammes de matières subissent à la fusion une diminution de poids résultant, soit de l'évaporation de l'eau que contient toujours le carbonate de potasse, soit du dégagement de l'acide carbonique de ce carbonate qui n'entre dans la composition du cristal qu'à l'état de silicate de potasse; soit du dégagement de l'excès d'oxygène du minium qui doit être ramené dans le cristal à l'état de protoxyde de plomb, soit des matières perdues dans le mélange et l'enfournement, soit du coulage qui a lieu lorsque les creusets viennent à casser, etc. La perte est de 13 à 15 p. 0/0, suivant l'état des matières et la manière dont la fonte est conduite, en moyenne 14 p. 0/0, ou 20 kilogrammes; 144 kilogrammes de composition ne produisent donc, en cristal fondu, que 124 kilogrammes.

Il s'en faut de beaucoup que la totalité de ces 124 kilogrammes de cristal fondu puisse être convertie immédiatement en produits vénaux. Une portion reste adhérente aux creusets, dont elle constitue ce qu'on appelle l'enverrage. On extrait une autre portion au commencement et souvent pendant le cours de chaque travail sous la forme d'escramures ou écrémures, pour enlever les parties impures qui sont remontées à la surface. Une portion considérable s'attache aux outils, d'où on la retire ensuite plus ou moins incrustée de fer; une autre tombe en rognures sous les ciseaux du verrier. Il y a inévitablement une certaine quantité de pièces manquées, ou présentant des défauts, et de verre gaspillé par les ouvriers et leurs gamins. De plus, il y a toujours un fond de creuset qui ne peut pas être recueilli et utilisé. Les escramures, le verre détaché des outils, les rognures, les pièces manquées et le verre gaspillé pèsent beaucoup plus que le cristal converti en objets vendables. Ils ne sont pas perdus, ils rentrent dans les fontes suivantes après avoir été traités, triés et nettoyés; mais il y a forcément dans cette opération un déchet de cristal réduit en poussière ou en groisils fins sans valeur, qui, joint à l'enverrage, aux fonds de creusets, et au verre tombé dans le four, ne peut pas être évalué à moins de 14 centièmes des 124 kil. de verre fondu, ou 17 kil. et demi. Ainsi 144 kil. de composition ne représentent en cristal fabriqué que 106,50.

Enfin pour dépontiller ou fletter le cristal uni, et l'amener à l'état vendable, on lui enlève environ 6 p. 0/0 de son poids, et il ne reste de ces 144 kil. de composition que 100 kil. de cristal uni, dépontillé.

Ces quantités de matières étant ainsi reconnues comme point de départ, il est intéressant d'étudier ce qu'elles coûtent en France de plus qu'aux Anglais; ces chiffres se rapportent à la fabrication de Baccarat.

Minium. Les Anglais ont à leur portée des mines de plomb de première qualité. En France on va chercher ce métal en Angleterre ou en Espagne. Quand on le tire d'Angleterre, il revient, rendu au port d'expédition, au même prix que dans les usines de ce pays; mais il est augmenté des frais d'embarquement en Angleterre, fret et assurance jusqu'au Havre. Ces frais s'élèvent, savoir : frais au Havre, et commission ou bénéfices des intermédiaires, suivant la lettre de proposition de transport, soit 12 fr.

Si l'on fait les achats en Espagne, le résultat est

le même, attendu que les prix des plombs de ces deux origines se nivellent nécessairement en France.

Il faut ajouter :

1° Droit d'entrée, y compris le double décime, 6 fr. par bâtiment français, et 8 fr. 40 cent. par bâtiment étranger ; en moyenne, 7 fr. 20.

2° Transport par chemin de fer du Havre à Lunéville, 3 fr. 79.

3° Frais à Lunéville et transport à Baccarat par les voies ordinaires, 0 fr. 63.

Total, au détriment de Baccarat, par 100 kil. de plomb, 23 fr. 62.

46 kil. de plomb, qui produisent, déduction faite des déchets, 48 kil. de minium, sont donc soumis à une différence de 10 fr. 86.

Potasse. — Les Anglais ne supportent pas de droits sur leurs potasses. L'entrée de cet article en France, par bâtiments étrangers, est soumise à un droit de douane de 4 fr. 80 c. par 100 kil., y compris les deux décimes, et c'est ce droit qu'il faut prendre pour base, puisqu'il n'a pour objet que de compenser la différence du fret de la navigation française et de la navigation étrangère, et que les potasses ne coûtent pas moins cher, quand elles arrivent par bâtiments français, que quand on les recevait par bâtiments étrangers.

Comme la production des potasses en France est loin de suffire aux besoins de la consommation, les prix des potasses du pays se nivellent nécessairement avec ceux des potasses exotiques.

Il faut ajouter, de plus, le transport de Marseille à Baccarat sur 112 kilog., y compris la tare, pour 100 kilog. de potasse, soit 7 fr. 46.

Tandis que les frais des Anglais n'excèdent pas, en moyenne, 50 centimes par 100 kilogrammes ou pour 112 kilogrammes, 0 fr. 56.

En récapitulant :

1° Droit d'entrée, 4 fr. 80 ;

2° Transport, 7 fr. 46,

dont il faut retrancher, 0 fr. 56.

Différence pour 100 kilog. de potasse, 11 fr. 70.

24 kilog. de potasse supportent donc une augmentation de prix de 2,80.

Combustible. — On peut évaluer à 500 kilog. la quantité de houille nécessaire pour convertir 100 kilog. de matières neuves en marchandise fabriquée, soit 720 kilog. pour 144 kilog. de composition, produisant 100 kilog. de cristal uni, dépouillé. On fond beaucoup plus de 100 kilog. de cristal avec 720 kilog. de houille ; mais cette plus grande quantité de cristal fondu ne comprend que 144 kilog. de composition neuve, le reste est fourni par des groisils provenant des fontes précédentes, et on n'en obtient que 100 kilog. de cristal vénal.

La houille coûte aux Anglais, rendue dans leurs usines, 7 fr. 50 c., soit 5 fr. 40 c. pour 720 kilog.

Elle revient à Baccarat à 3 fr. 90 c. les 100 kilog. Il est vrai qu'on n'accepte, à ce prix, que de la houille en morceaux, et que, si l'on prenait, comme les Anglais, de la houille tout venant, elle coûterait 25 c. de moins. Nous ne la supposerons donc, pour comparer notre situation à celle de nos rivaux d'outre-Manche, qu'à 3 fr. 65 c. par 100 kilog., soit 26 fr. 28 c. pour 720 kilog.

Le désavantage relatif de Baccarat est de 20 fr. 88.

Sur quatre fours qui sont actuellement en activité à Baccarat, trois sont chauffés au bois. Le résultat de ce mode de chauffage est très-sensiblement le même. On consomme 2 stères et demi de bois pour 144 kilog. de composition neuve.

1° Ces 2 stères et demi coûtent, en moyenne, rendus dans l'usine, à raison de 8 fr. 50 c. par stère, 21 fr. 25.

2° Le fendage en billettes et les manipulations qui en résultent reviennent à 1 fr. par stère ; 2 fr. 50.

3° On brûle, pour sécher 2 stères et demi de billettes avant de les employer dans les fours, 0 stère 25 de bois d'un prix moins élevé, qui ne sont évalués qu'à 6 fr. le stère, 1 fr. 50.

4° Main-d'œuvre des chauffeurs, chargement et déchargement des chariots, 40 c. par stère sur 2 stères et demi, 1 fr.

Total de la dépense sensiblement égale à celle de la houille, 26 fr. 25.

Nous ne croyons pas devoir faire mention du sable et de la terre réfractaire qu'il faut aller chercher, l'un à 300 kilomètres, l'autre à 565 kilomètres de Baccarat, et qui coûtent sensiblement plus cher qu'aux Anglais ; les charges comparatives que cette circonstance impose ne paraissent pas avoir assez d'importance pour qu'il y ait lieu de l'introduire dans ce calcul.

Intérêts et amortissement de capitaux. — On peut évaluer la mise de fonds engagée dans l'exploitation d'une cristallerie à l'équivalent de la production annuelle. Chaque pièce fabriquée est donc effectivement grevée de l'intérêt d'un capital égal à sa valeur. Mais tandis que 100 kilog. de cristal uni dépouillé représentent pour les Anglais une valeur moyenne d'environ 160 fr., ils valent à Baccarat 210 fr. Il est évident que les matières premières, le combustible, l'outillage, les machines et les produits étant moins chers en Angleterre, la confection et la mise en magasin d'un même poids de cristal fabriqué doit exiger un moindre capital dans ce pays qu'en France ; et comme l'intérêt courant est chez nous à peu près double de ce qu'il est outre-Manche, nos concurrents supportent l'intérêt de 160 fr. à 3 p. 100, ou plus 4 fr. 80, tandis que l'intérêt de 210 fr. à 6 p. 100 représente 12 fr. 60.

L'excédant d'intérêts pour les cristalleries françaises équivaut donc à la somme de 7 fr. 80.

Si on suppose un amortissement annuel de 5 p. 100, cet amortissement imposera au fabricant anglais, sur le capital de 160 fr. afférent à chaque quantité de 100 kilog. de cristal uni fabriqué dans l'année, une charge de 8 fr., et au fabricant français, sur un capital de 210 fr., 10 fr. 50.

Différence au détriment de Baccarat, 2 fr. 50.

Transport. — Quant à la comparaison de la dépense de transport que ferait peser sur la cristallerie anglaise et sur la cristallerie française la vente de leurs produits en France, pour faire ce calcul M. Godard l'établit au Havre.

Placer les industriels des deux nations dans des conditions d'égalité à Paris, ce serait, suivant lui, mettre nos producteurs dans l'impossibilité absolue de lutter avec les rivaux qui se présenteront dans toute la partie de la France située à l'ouest du méridien de Paris, du nord au midi, depuis Dunkerque jusqu'à Carcassonne ; ce serait s'exposer à livrer à ceux-ci le Havre, Rouen, Nantes, Bordeaux, Toulouse et les centres qui s'approvisionnent dans ces contrées de commerce. En établissant l'équilibre au Havre, on ne l'établit pas pour cela à Nantes, Bordeaux et Bayonne où les Anglais, expédiant directement, conserveront un avantage important sur les Français placés à Baccarat, Saint-Louis, Paris ou Lyon ; mais il faut bien adopter un point de comparaison, et le Havre paraît encore le plus rationnel, malgré cet inconvénient grave. Dans ces conditions, on peut admettre, en considérant Baccarat, situé à 612 kilomètres du Havre, et les cristalleries anglaises placées en Angleterre sur les ports d'embarquement de Newcastle ou ailleurs, qu'ils n'ont aucun avantage les uns sur les autres en ce qui concerne les transports, et en supposant qu'ils soient dans des positions équivalentes sous ce rapport. L'influence des transports est donc éliminée.

Flettage ou dépontillage. — Enfin nous devons tenir compte de la dépense de flettage et de dépontillage, qui est plus élevée en France qu'en Angleterre, en raison du plus haut prix de l'outillage, des machines et du combustible, qui représente au moins 15 fr. pour 100 kilog., et pour laquelle on devrait comprendre dans l'évaluation du droit protecteur 25 p. 100 de ces 15 fr., c'est-à-dire 3 fr. 75.

Dans les considérations qui précèdent, nous n'avons pas fait mention du prix de la main-d'œuvre des verriers. Nous ne pensons pas que les Anglais la payent sensiblement moins cher que nous; mais ils ne la payent certainement pas plus cher. Nous nous regardons comme étant de part et d'autre, sous ce rapport, sur le pied de l'égalité. M. Godard ne s'est attaché qu'aux causes de dépenses qui offrent des différences sensibles, les matières premières, le combustible, l'outillage, les intérêts des capitaux engagés.

En récapitulant ces différences successives on peut faire le résumé suivant :

Minium.	10,86
Potasse.	2,80
Houille.	20,88
Amortissement et intérêts	10.30
Dépontillage et usure du matériel. .	3,75
	48,59

Ces chiffres seront certainement modifiés par suite des nouveaux tarifs, qui diminueront les prix des produits chimiques et des transports sur la houille.

D'après M. Bosseu, directeur de la fabrique de Saint-Louis, la moyenne du prix des 100 kilog. de cristal anglais serait de 200 francs, en faisant intervenir l'influence des cristaux moulés.

D'après M. Maës, de Clichy, il faut augmenter la quantité de houille qui sert à fondre les 100 kilog. de cristal; il ne peut l'estimer à moins de 1,000 kilog., en tenant compte du combustible employé pour le polissage et le douci des cristaux taillés.

Telles sont les données produites par l'enquête : on va voir que les chiffres introduits dans le tarif ne répondent pas aux demandes des fabricants. Nous estimons toutefois que les droits que le gouvernement a fixés seront suffisamment protecteurs, et que les faits prouveront que nos fabricants s'étaient alarmés à tort en n'introduisant pas dans leurs calculs les éléments compensateurs qui pouvaient diminuer les différences qu'ils ont cru devoir faire ressortir.

Le décret qui fixe les droits d'entrée des verreries d'origine anglaise établit les distinctions et le tarif suivants :

Miroirs ayant moins d'un mètre carré 10 p. 100 de la valeur

Glaces	brutes	1f,50	par mètre carré de superficie.
	étamées ou polies.	4 ,00	
Bouteilles de toutes formes.		1 ,30	les 100 kilog.
Verres à vitres blancs . . .		3 ,60	
Verres de couleur polis ou gravés. .			10 p. 100 de la valeur.
Gobeleterie et cristaux			
Vitrifications de toutes sortes . . .			
Émaux			
Objets en verre non dénommés. . .			
Groisil et verre cassé			exempt.

Il faut ajouter aux droits de douane stipulés dans le tarif les taxes supplémentaires restituées à la sortie des produits français sous forme de drawbacks, savoir :

Pour les miroirs	1 f. le m. carré.
Pour les verres à base de soude.	3 f. les 100 kil.

SALVÉTAT

VIDANGES. La question des vidanges peut être considérée à deux points de vue fort importants tous deux, de la salubrité publique et de la fabrication des engrais. Nous les passerons successivement en revue.

Salubrité publique. — Quant à la salubrité la question se confond avec celle de la désinfection, traitée si complétement dans un article spécial; car si les matières qui remplissent les fosses étaient complétement désinfectées, leur transport n'offrirait pas plus d'inconvénients que celui de déblais ou de matériaux de construction. Voyons ce qui a été fait pour atteindre ce but.

Aujourd'hui, à Paris, on ne peut vider une fosse si elle n'a préalablement été désinfectée, et il dépend des inspecteurs que cette désinfection soit complète. Nécessairement, pour pratiquer cette opération, il faut que les fosses ne soient pas entièrement pleines; aussi l'autorité a-t-elle prescrit l'emploi d'indicateurs-flotteurs, et le propriétaire qui laisse remplir sa fosse au delà du point voulu est mis à l'amende.

Par le fait de la désinfection au moyen de dissolutions métalliques, les matières solides tenues en suspension dans la masse, suspension due très-probablement à l'alcalinité, se déposent, et il reste à la partie supérieure de la fosse un liquide clair et presque limpide. Moyennant une redevance de 1 fr. 25 par mètre cube, il est loisible à l'entrepreneur de vidanges de laisser couler sur la voie publique le liquide clair en question, ou d'en disposer à sa guise; les matières solides sont aussi à sa disposition au même prix.

Les matières que les vidangeurs n'achètent pas sont transportées par eux au dépotoir sis à la Villette (Voy. VENTILATION), la voirie de Montfaucon ayant été transférée dans la forêt de Bondy, à la grande satisfaction des habitants de Paris, la Villette, Belleville, Pantin, etc., mais au grand regret des habitants de Bondy et des communes environnantes. Les tonneaux arrivés au dépotoir, on les vide, on les *débarde* dans des citernes où les liquides sont aspirés par des pompes qui les refoulent dans une conduite souterraine qui les déverse dans les bassins de Bondy. Pour arrêter les matières solides toujours mélangées en plus ou moins grande quantité aux liquides, des tamis sont disposés, et on a soin d'ajouter une certaine quantité d'eau pure pour délayer le plus possible de ces matières et leur permettre de se prêter au jeu des pompes. Les matières solides enlevées dans les tinettes suivent la voie du canal de l'Ourcq pour arriver à Bondy.

Les matières désinfectantes employées généralement aujourd'hui sont le sulfate et le chlorure de zinc, en dissolutions titrant de 35 à 40 degrés; le chlorure peut être employé à un degré bien plus élevé, puisqu'il est incristallisable. Une proportion de 2 0/0 suffit en moyenne pour produire le résultat voulu. On a reconnu dans la pratique que le dépôt, la clarification se produisent plus facilement au moyen des chlorures que des sulfates. Il paraîtrait que l'autorité tient essentiellement à ce que les fosses dont on doit faire couler les liquides sur la rue ne soient pas désinfectées avec des sels de fer, parce que le sulfure et le carbonate de fer formés par la réaction du désinfectant, se déposant toujours en certaine quantité dans les ruisseaux, y laisseraient une couche de matière ocreuse par suite de la transformation du sulfure et du carbonate de fer en oxyde.

Nous ne savons pour quel motif on n'a point prescrit l'anti-infection, c'est-à-dire la désinfection permanente et préservative qui empêcherait les fosses d'exhaler jamais de mauvaises odeurs.

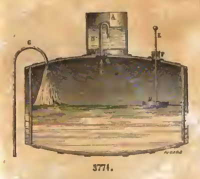
Quelquefois les vidangeurs mélangent aux matières désinfectantes des essences odorantes à bon marché pour masquer l'odeur spécifique de la matière que les sels métalliques ne peuvent faire disparaître.

Dans la pratique la désinfection ainsi produite est incomplète, et elle exigerait l'intervention du charbon pour absorber les gaz; il est une autre cause d'infection facile à faire disparaître. Nous croyons que personne

n'y a songé avant M. Rohart, qui décrit ainsi, dans le *Guide de la fabrication des engrais*, le système qu'il a fait appliquer à Rouen pour éviter que l'aspiration des pompes qui servent à amener les produits liquides dans les tonneaux ne lance dans l'atmosphère des gaz infects.

Ce moyen consiste à visser, au sommet de la tonne, un petit désinfecteur mobile, dont la fig. 3771 est la reproduction exacte.

Le vase A est cylindrique : c'est, à proprement parler, un seau de 8 à 10 litres en gutta-percha. L'emploi de cette matière, qui rend à l'industrie des services nombreux, est extrêmement utile ici, en raison de sa légèreté, de sa solidité, et surtout de la facilité du maniement.



3771.

B est un tuyau de même nature, recourbé, et destiné à faire barboter, dans le chlorure de chaux liquide qui contient le désinfecteur A, les gaz expulsés pendant l'emplissage des tonnes.

En C est un raccord à vis permettant d'ajuster le désinfecteur sur la tonne T. Dès que celle-ci est pleine, on dévisse le désinfecteur, on l'ajuste sur une autre tonne à emplir, et ainsi de suite. Rien n'est plus facile et plus prompt que cette manœuvre.

Lorsque la tonne est pleine, la partie du raccord fixée au sommet de celle-ci reçoit un bouchon à vis qui la ferme hermétiquement. Enfin, l'emplissage de la tonne se vérifie au moyen du flotteur D, dont la tige de cuivre E glisse dans une boîte à étoupes F.

Par cette disposition, applicable à toutes les tonnes indistinctement, il est impossible de percevoir la moindre odeur autour des voitures à vidanges, à moins d'accidents ou de maladresse. Une réaction chimique bien simple explique l'efficacité de ce moyen : c'est principalement l'acide sulfhydrique, dégagé de ces déjections impures, qui nous inspire une répulsion légitime par son odeur épouvantable, et instinctive par les dangers réels que présente son inspiration. Dans cette circonstance, l'acide sulfhydrique est entièrement décomposé en traversant forcément l'hypochlorite de chaux liquide. Il se forme de l'acide chlorhydrique qui reste en dissolution, et du soufre qui se dépose.

Il est bien vivement à souhaiter que ce moyen se propage, car il rendrait service à tout le monde, et c'est dans ce but que nous l'indiquons. La dépense en chlorure de chaux ne dépasse pas 8 centimes 50 par mètre cube de liquides extraits des fosses.

L'inconvénient auquel remédie le petit appareil ci-dessus décrit est évité par un système dit atmosphérique, qui consiste en l'emploi de tonnes hermétiquement fermées, en forte tôle, dans lesquelles on pratique d'avance le vide. Lorsqu'elles sont arrivées sur le lieu d'extraction, on assemble vers l'appendice, où se trouve un long robinet, un tuyau qui descend dans le mélange liquide, qui est chassé dans la tonne vide par la pression atmosphérique.

La difficulté de faire le vide a été résolue pratiquement à Turin par l'emploi de chambres barométriques, de puits ayant plus de 10m,32. En remplissant la tonne d'eau et adaptant après le robinet un tuyau qui descende au fond du puits, on obtient immédiatement, malgré quelque dégagement d'air dissous dans l'eau, le vide de la chambre barométrique qui se conserve en fermant le robinet. Toute pompe élévatoire, appliquée à extraire l'eau du puits, mue par un manége ou autrement, suffit alors pour le travail.

Le système de fosses fermées a toujours été considéré comme barbare, et l'exemple de quelques villes où, à l'aide d'une abondante distribution d'eau, on chassait au loin toutes les immondices, paraissait le système salubre par excellence. Mais l'exemple de Londres, récemment infecté par l'accumulation des immondices dans la Tamise et dans les égouts, a montré les graves inconvénients de ce système. Cependant l'abondante distribution d'eau dans toutes les maisons, condition essentielle de salubrité que poursuivent avec raison toutes les municipalités, semble incompatible avec le système de fosses fermées, qui se trouvent presque aussitôt remplies d'eau. Comme il est impossible, même à peu de distance de la mer et pour des villes traversées par un fleuve important, d'y envoyer toutes les immondices, il faut les faire disparaître par une fabrication bien entendue des engrais qui ramène les produits à l'état sec.

Fabrication des engrais. — Un premier a été essayé avec quelque succès en Angleterre, et c'est vers son adoption que paraissent tendre les améliorations que l'expérience a paru rendre nécessaires pour la salubrité de Londres. Il s'agit d'un moyen de débarrasser l'eau des égouts des immondices avant de les jeter à la rivière, et à les convertir immédiatement en engrais. L'effet émulsif que produit la chaux dans les eaux sales a fait concevoir la possibilité de réussir dans cette voie. Nous n'avons pas à revenir ici sur ce système dont M. Mangon a décrit l'application à la ville de Leicester, de 65,000 âmes, dans le beau travail sur les ÉGOUTS dont il a enrichi cet ouvrage.

Malgré tout ce qu'il offre d'ingénieux, on ne doit pas se dissimuler que le traitement des eaux d'égout par la chaux, bien que produisant une amélioration incontestable, n'est qu'un palliatif incomplet. D'abord, il ne précipite qu'une partie des matières solubles, et ce fait est hors de toute discussion, et il a été constaté, non-seulement en Angleterre, mais encore en France, par M. Hervé-Mangon. De plus, même avec de grandes quantités d'eau, on ne peut empêcher les égouts de rester infects.

Le second système est le système diviseur déjà exploité par une compagnie et qui fait l'objet de plusieurs brevets qui conduiront sûrement à des appareils tout à fait satisfaisants dans la pratique. Les produits solides restent dans une capacité métallique d'un enlèvement facile, et les liquides, séparés par une espèce de grossier filtre plongeur, sont envoyés directement à l'égout. Comme on suppose que l'emploi de cet appareil coïncide avec une abondante distribution d'eau qu'on a soin d'y faire passer, il y a absence de fermentation et d'odeur dans l'égout. C'est, nous pensons, dans cette voie qu'on trouvera le plus souvent la conciliation complète des intérêts de la salubrité et de l'agriculture, si intéressée à une abondante production d'engrais à bon marché.

Engrais. — La question de la conversion rapide, complète, on évitant toute espèce d'inconvénient des

vidanges en engrais, est traitée d'une manière complète dans le *Guide de la fabrication économique des engrais*, de M. Rohart; nous ne pouvons que renvoyer à cet excellent livre le lecteur qui voudra étudier complétement la question. Nous lui ferons seulement un emprunt pour bien faire comprendre l'importance économique du problème qu'il s'agit de résoudre et la certitude des principes sur lesquels reposent les diverses méthodes qui constituent sa solution complète.

MM. Boussingault et Liebig ont constaté que chaque individu produit par an 275k,50 d'excréments, renfermant 8k,250 d'azote, suffisants pour la fumure de 50 ares de terre et la production de 400 kilog. de froment; et 228k,125 d'urine correspondant à la fumure d'un hectare. En étendant ces calculs aux 35 millions d'habitants de la France, on trouve :

Solides.	9,625,000,000 kilog.
Liquides	7,980,000,000 —
	17,605,000,000 kilog.

représentent la fumure de 17,850,000 hectares, soit 63 p. 100 de superficie actuellement en culture de la France, s'élevant à 28,421,174 hectares. On voit qu'il y a là des ressources assez considérables pour qu'on s'en occupe sérieusement, et qu'on ne perde pas par une exploitation absurde une semblable somme de richesses.

M. Rohart indique la nécessité de mélanger les vidanges avec de la tourbe, des balayures des grandes villes pour fournir le carbone nécessaire à un engrais complet; à des plâtres pour fixer les sels d'ammoniaque volatils et faire disparaître l'infection; à des coprolithes, aux produits des ateliers d'équarrissage pour accroître la richesse en phosphates et en azote, et enfin à faire fermenter le tout, condition essentielle, et trop peu comprise généralement, de l'assimilation des détritus par la végétation.

Stephens, l'une des plus puissantes autorités anglaises en matière d'agriculture, dit : « Tout fumier doit fermenter avant d'être employé. » En effet, autre chose est de faire de simples mélanges, comme cela se pratique trop souvent, même en employant les proportions les mieux raisonnées, ou de placer ces engrais dans des conditions telles qu'une fermentation naturelle puisse à son gré former des combinaisons et des arrangements particuliers dont elle seule tient encore le secret dans un très-grand nombre de cas. Autre chose, répétons-le encore, est de préparer un mélange d'eau, d'alcool, de matière colorante et de tanin, pour en fabriquer un liquide décoré du nom de vin, ou de laisser à la nature le soin de transformer le sucre en alcool, et de combiner celui-ci avec l'eau de manière à produire une véritable boisson bienfaisante. Or, il en est de même à l'égard des engrais.

Il faut donc conclure de tout ceci que l'*état* des corps, considéré au point de vue de l'alimentation végétale, ne saurait être indifférent, qu'il a, au contraire, la plus grande influence sur l'action que ceux-ci exercent à l'égard des récoltes, et que les décompositions et les combinaisons infinies qui s'opèrent, ainsi que les changements d'état qui s'accomplissent au sein d'une masse d'engrais en fermentation, sont *indispensables* à la qualité de ces derniers.

Un grand nombre d'engrais n'échouent ou ne donnent des résultats incomplets que par l'une des deux causes suivantes : ou bien il est des éléments indispensables qui font défaut, ou qui ont été employés sans discernement, ou la masse n'a pas passé par toutes les phases d'une fermentation naturelle, dont l'effet principal est de déterminer un arrangement particulier que nous sommes impuissants à produire artificiellement comme à l'égard de la fabrication du vin.

Dès qu'un tas d'engrais préparé avec les matières premières convenables, et contenant en outre des dépouilles animales dissoutes par l'influence naturelle de la décomposition, est mis en contact avec l'air, pour être ensuite abandonné à lui-même, sa température intérieure s'élève rapidement, et jusqu'au point de faire monter le thermomètre à 70 degrés centigrades. Il se produit là une véritable combustion lente, analogue, quant aux résultats, à celle qui s'opère dans nos foyers par l'effet de la combustion vive du charbon; car il y a non-seulement production de chaleur, mais dégagement abondant d'acide carbonique gazeux, dont la masse totale est entièrement imprégnée, et qui exerce sur celle-ci la plus salutaire influence. C'est alors que s'opèrent à l'infini les décompositions, les combinaisons nouvelles, les arrangements nouveaux et les changements d'état dont nous venons de parler, et qui sont *indispensables*, répétons-le encore, à la qualité des engrais.

Les matières animales, dissoutes par l'effet d'une pourriture lente, continuent à se décomposer suivant la loi naturelle à laquelle elles sont toutes soumises, et se convertissent nécessairement en composés ammoniacaux gazeux qui se répandraient en pure perte dans l'atmosphère, si la porosité des corps avec lesquels ils sont en contact, et notamment l'humus et le charbon, ne s'y opposaient, et si le plâtre, ajouté aux matières premières, ne venait fixer le carbonate d'ammoniaque en le transformant en sulfate de la même base. Aussi, dès que cette fermentation a cessé, aperçoit-on, dans toute la masse, de nombreux et brillants cristaux de sulfate et de chlorhydrate d'ammoniaque qui scintillent à la lumière et projettent au soleil les couleurs les plus vives.

Le premier de ces sels résulte non seulement de l'action du sulfate de chaux (plâtre) dont nous venons de parler, mais aussi de l'action du sulfate de fer employé à la désinfection. Quant au second sel, il est le résultat de la transformation opérée par les chlorures ou les liquides acides des fabriques de gélatine dont on a pu faire usage pour la saturation. Il y a avantage à faire prédominer le chlorhydrate d'ammoniaque par l'emploi des chlorures, plutôt que le sulfate, par la raison que le premier jouit, en outre, de la propriété de dissoudre le phosphate de chaux, et que cette circonstance est toujours favorable à la qualité des produits.

La chaleur et l'humidité jouent, à l'égard de ces transformations nécessaires, un rôle bien important. Toutes deux se prêtent un mutuel appui. La première a d'abord pour effet de détruire les graines d'herbes parasites que contiennent presque toujours les déchets de laine comme nous l'avons dit précédemment, ou qui se trouvent bien souvent dans les débris végétaux que l'on peut utiliser à la fabrication des engrais; or, après une fermentation de plusieurs mois, et l'influence d'une température aussi élevée, *toutes* les graines parasites sont entièrement détruites. L'humidité ramollit les matières dures, les pénètre, les gonfle, ouvre leurs pores et les prédispose à une décomposition ultérieure, sans laquelle leur action sur les terres ne se ferait sentir qu'avec une extrême lenteur.

C'est principalement sous la double influence de la chaleur et de l'humidité que s'opèrent bien la décomposition totale de toutes les matières végétales et leur transformation en humus soluble, de même que c'est sous cette double influence que les matières animales facilement décomposables se transforment d'abord en carbonate d'ammoniaque, puis en sulfate de la même base, au contact du plâtre employé.

Au milieu de ces transformations sans nombre, et grâce surtout à la production abondante et continue d'acide carbonique à laquelle donne lieu la combustion lente des matières végétales, le phosphate de chaux

incorporé dans les engrais sous forme de coprolithes, ou bien dans son état naturel, devient soluble, et peut être dissous facilement plus tard au sein du sol, à la faveur des eaux pluviales, et transmis aux racines des plantes qui le feront servir à reconstituer de nouvelles céréales ou de nouveaux fourrages, dans lesquels les hommes et les animaux puiseront à leur tour le phosphate de chaux nécessaire à leur constitution.

Ici donc, comme dans le cas de la fermentation naturelle des résidus de raffinerie, du guano, de l'urine et de l'engrais flamand, il y a tout à la fois action chimique sur les matières animales employées, c'est-à-dire conversion d'une partie de celles-ci en sels ammoniacaux, de même qu'une action purement physique, un simple changement d'état s'opère à l'égard des phosphates, changement à la faveur duquel ceux-ci acquièrent, comme dans le guano, leur plus grande solubilité et le pouvoir d'agir efficacement sur toutes les terres, lorsqu'ils sont associés dans des rapports convenables et avec les sels ammoniacaux et avec les matières animales.

Toutes ces transformations, que la nature semble vouloir soustraire à nos regards, et que l'œil de l'homme n'a pu apercevoir et étudier à son gré qu'après avoir accompli des prodiges de persévérance, de travail et de recherches, ont donc une immense portée et une utilité bien réelle, puisqu'elles nous montrent comment et par quels moyens nous pouvons arriver à pourvoir au premier et au plus impérieux de tous nos besoins, à notre subsistance.

Il faut donc se bien pénétrer de cette vérité, que toutes les matières appelées à concourir à l'alimentation végétale *doivent* passer par certaines transformations, ou éprouver diverses influences sans lesquelles elles pourraient demeurer complétement inertes. Faire un choix judicieux des matières premières qui peuvent entrer dans la composition des engrais, les obtenir économiquement et les grouper dans des proportions convenables, c'est beaucoup déjà; mais ce n'est encore que la moitié de ce qui est nécessaire à une fabrication véritablement sérieuse, car il faut aussi que les engrais obtenus satisfassent à *tous* les besoins de la végétation. Hors de là, et hormis le cas exceptionnel des défrichements, il n'y a que déceptions à attendre tôt ou tard de l'emploi d'engrais incomplets, *quels qu'ils soient*; car il est *absolument certain* que ce que les engrais n'apportent pas aux récoltes, celles-ci le prennent au sol, dont la valeur est diminuée d'autant. Il faut donc que la végétation trouve dans les engrais, non pas seulement de l'azote et des phosphates, mais encore, et dans un état convenable, de l'humus soluble, des alcalis, de la potasse, de la chaux, de la magnésie, de la silice soluble, en un mot *chacun* des éléments qui entrent dans la composition du fumier de ferme, et qui lui donnent, sur tous les engrais, une supériorité incontestable.

L'échauffement naturel de chaque lot d'engrais fabriqué comme nous venons de l'indiquer n'a d'autre limite que la décomposition complète, absolue, des matières végétales et animales employées, décomposition qui ne doit, en réalité, se terminer qu'au sein du sol. L'acide carbonique accumulé dans l'intérieur de chaque tas finit toujours par ralentir et même par suspendre presque complétement cette décomposition. Pour l'accélérer, il suffit d'aérer les engrais en les remuant à la pelle. En reformant ainsi ce nouveau tas, on expulse l'acide carbonique accumulé dans la masse; de nouvelles quantités d'air sont alors emprisonnées dans les interstices, et l'échauffement est continué jusqu'à ce que l'acide carbonique prédomine, et ainsi de suite.

Cet échauffement doit se continuer tant que les engrais restent pelotonnés; on dit alors qu'ils ne sont pas *assez faits*. Au contraire, lorsque l'échauffement s'est opéré d'une manière uniforme sur toute la masse, les engrais cessent d'être compactes; ils deviennent pulvérulents, c'est-à-dire plus divisés, plus meubles, plus légers, et, dans cet état, ils peuvent parfaitement être semés à la volée, à la manière du plâtre. Toutefois, et avant de les rentrer en magasin, on les crible en les passant à la claie de fer ou d'osier. Les parties trop volumineuses qui refusent le passage à la claie, et qui proviennent principalement de celles qui primitivement se sont desséchées autour ou au pied des tas, et qui n'ont conservé leur forme arrondie que parce qu'elles n'ont pu recevoir la double influence de la chaleur et de l'humidité dans l'intérieur des tas, on les réunit et on les incorpore au centre des lots en voie de fermentation.

VIGNE (MALADIE DE LA). Un véritable fléau est venu, dans ces dernières années, tarir la richesse de nos départements qui produisent des vins. Une maladie, se propageant de proche en proche, détruisait complétement les récoltes en déterminant la pourriture de la grappe. L'oïdium tuckeri, parasite qui en était cause, parti, dit-on, d'une serre d'Angleterre où se faisait la culture forcée de la vigne, a fait le tour de l'Europe, et déjà dans certains pays on commençait à arracher les vignes dont la culture n'était plus rémunérative.

Enfin la science, après bien des recherches, est venue à bout de ce fléau, et le soufrage, l'aspersion de fleur de soufre suffisamment répétée, est venu apporter une guérison aujourd'hui incontestée.

SUCRAGE DES VENDANGES. — On a repris avec succès, dans ces dernières années, l'addition du sucre de canne dans la cuve pour donner, surtout dans les mauvaises années, une richesse suffisante en alcool aux vins qui en assurât la conservation. Déjà préconisé par Macquer, en 1776, ce procédé, appliqué avec exagération, abandonné, puis repris, paraît avoir une valeur réelle, bien qu'on ne doive l'appliquer qu'avec modération.

On a été plus loin, et dans certaines contrées produisant des vins généreux, on dans les dernières années où le vin était cher, on a refait un second vin en remplissant la cuve de vendange, après avoir tiré le vin, d'eau et y ajoutant du sucre et produisant une fermentation. On a obtenu ainsi des vins très-passables, mais pas à très-bon marché à cause du prix du sucre de première qualité qu'il est tout à fait nécessaire d'employer.

VOLANT. Un volant a pour but d'assurer une vitesse normale aux pièces d'une machine en emmagasinant une quantité de travail, lors des accélérations, pour la restituer quand le travail moteur est moindre que le travail résistant.

Un volant se compose d'une *jante* circulaire en fonte d'un poids déterminé, reliée par des bras à un moyeu fixé invariablement à un centre de rotation. Il convient, en général, de reporter le poids du volant sur la jante, afin qu'avec un poids modéré il accumule une grande quantité de puissance vive.

Ainsi, M étant la masse de la jante et V la vitesse, $\frac{MV^2}{2}$ représentera la puissance vive de la masse M. Or, dans le produit MV^2 on peut faire varier M ou V; l'on voit donc qu'il convient de faire V *le plus grand possible*, afin de diminuer la masse M, dont l'effet serait de charger les axes, d'user promptement les tourillons et d'augmenter les résistances passives.

Lors donc que l'on voudra établir un volant, on aura à calculer la vitesse d'un point de sa circonférence de la jante ou le nombre de révolutions du volant.

Le volant doit être placé sur l'arbre moteur ou sur un axe relié à l'arbre moteur par des engrenages; dans tous les cas il doit être le plus près possible du mécanisme dont il doit régulariser l'action.

On comprend facilement qu'un volant ne peut anéantir toutes les causes d'irrégularité; mais on peut toujours poser des limites aux variations de vitesse en dessus ou en dessous de la *vitesse moyenne* qui aurait lieu si le mouvement de la machine était uniforme.

Le poids et la vitesse d'un volant doivent être déterminés d'après l'effet à produire, et de manière à restreindre les variations de vitesse dans des limites convenables, déterminées à l'avance d'après la nature du travail à effectuer. Les principes de la mécanique appliqués aux divers cas qui se présentent dans la pratique donnent des formules qui servent à déterminer le poids à donner aux volants.

Volants de machines à vapeur. Nous avons vu précédemment que les machines à vapeur à simple ou à double effet avaient besoin d'un volant. Si la machine est à simple effet, le poids de la jante du volant est donné par la formule suivante : $P = 24,300 \frac{nN}{mW^2}$ dans laquelle P est le poids de la jante, *m* le nombre de tours de la manivelle par minute, N le nombre de chevaux, W la vitesse moyenne, *n* le dénominateur de la fraction $\frac{1}{n}$ indiquant que la différence entre la vitesse maximum et la vitesse minimum soit au plus $\frac{1}{n}$ de W, vitesse moyenne.

Si la machine est à double effet, le poids du volant sera donné par la formule suivante : $P = 4.645 \frac{nN}{mW^2}$ dans laquelle les mêmes lettres ont les mêmes significations.

Ces formules supposent que la machine n'est pas à détente, car dans ce cas l'effort moteur est variable; les poids que l'on obtiendrait par ces formules seraient trop faibles. Il faudrait alors déterminer le poids P en fonction de la pression moyenne qui a lieu dans la machine.

Si le travail à produire n'exige pas une grande régularité, comme dans les machines soufflantes et les machines d'épuisement, la valeur de *n* peut être prise entre 15 et 20. Pour conduire des machines-outils, on peut prendre *n* égal à 30. Enfin, pour les filatures et les tissages, on prend *n* égal à 40.

Volants de marteaux. Lorsqu'une machine à vapeur fait mouvoir un marteau, elle donne le mouvement à un arbre portant des cames qui doivent le soulever. Au moment où la came vient toucher le marteau il y a choc et, par suite, perte de puissance vive. A partir de l'instant du choc, les points de contact marchent avec la même vitesse; de là encore perte de puissance vive, produite par la vitesse communiquée au marteau. Enfin le marteau, pour être élevé à *la hauteur de levée*, absorbe encore de la puissance vive. On voit donc que le volant doit récupérer toute cette puissance vive perdue dans le temps qui s'écoule entre *l'instant* où la came quitte le marteau et celui où une autre came vient le choquer.

Si le marteau est mis en mouvement par une roue hydraulique, on pourra ne pas mettre de volant, en construisant la roue de manière à ce qu'elle en remplisse les fonctions. Pour cela elle devrait être à grande vitesse et très-lourde à sa circonférence. Mais une roue ainsi construite utiliserait mal la force dépensée, et si l'on n'a pas la force en excès il faut revenir à l'emploi d'un volant.

Dans l'*Aide-mémoire* de M. Morin on trouve les formules suivantes, qui s'appliquent aux différents cas de la pratique :

1° *Marteaux frontaux.* — Les marteaux frontaux frappent de 70 à 80 tours par minute; leur poids (y compris celui du manche) varie de 3,000 à 4,000 kil. Si R est le rayon de la jante et P son poids, on prend $P = \frac{20,000}{R^2}$, en supposant le poids du moteur compris entre 3,000 et 3,500 kil., et $P = \frac{30,000}{R^2}$ si le poids du marteau est compris entre 4,000 et 4,500 kilog.

2° *Marteaux mus par un engrenage.* — Ils pèsent de 600 à 800 kil., toujours y compris le manche. Ils frappent de 100 à 110 coups par minute. On a $P = \frac{15,000}{R^2}$, P étant le poids de la jante et R son rayon.

3° *Martinets.* — Les martinets frappent de 150 à 200 tours par minute. Si le marteau pèse 500 kil., on a $P = \frac{5,000}{R^2}$; s'il pèse 360 kil., on a $P = \frac{6,000}{R^2}$.

Lorsque les marteaux doivent être mis en mouvement par une roue hydraulique, il est convenable de la calculer sans tenir compte de l'effet du volant, afin de pouvoir marcher dès le commencement sans être forcé de lever le marteau pour la mise en train; quitte ensuite à réduire la force motrice à ce qui est utile pour la marche du marteau.

Volants de laminoirs. — Quand une machine à vapeur fait marcher des laminoirs, on a encore besoin d'un volant. En effet, la vitesse est au maximum au moment où l'on va introduire le métal entre les cylindres, et elle va en diminuant jusqu'à ce que le métal soit complétement dégagé; il en sera de même pour la puissance motrice, qui au commencement sera à son maximum et à la fin à son minimum.

La puissance vive absorbée sera donc égale à la différence qui existe entre la puissance vive initiale et la puissance vive finale. Si donc on connaissait le temps pendant lequel cette absorption a eu lieu, il serait facile de déterminer le poids à donner au volant. Mais il n'en est pas ainsi : jusqu'à ce jour on n'a aucune expérience qui donne la puissance vive absorbée pour le laminage des métaux à différentes températures. On ne peut donc trouver rigoureusement le poids à donner au volant; on ne peut y arriver que par des essais successifs.

Dans son *Aide-mémoire*, M. Morin donne la formule suivante pour trouver le poids à donner aux volants des laminoirs :

$$P = \frac{130000\ NK}{m\ V^2}$$

dans laquelle N représente la force transmise, V la vitesse du volant, *m* le nombre de tours des cylindres par 1', K un coefficient numérique ayant différentes valeurs suivant le travail à effectuer. On prend :

K = 20 pour des machines d'une force de 80 à 100 chevaux, menant de 6 à 8 équipages pour le laminage de la tôle;

K = 25 pour des machines de 60 chevaux, conduisant de 4 à 6 équipages de cylindres étirant le fer;

K = 80 pour des machines de 30 à 40 chevaux, conduisant un seul équipage.

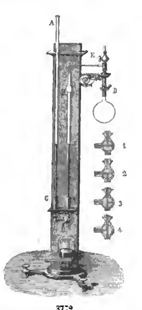
VOLUME. VOLUMÉNOMÈTRE. Lorsque les corps ont des formes qui peuvent se décomposer en prismes, pyramides, sphères, ellipsoïdes, etc., dont on peut mesurer les dimensions, rien n'est plus facile que de déterminer leur volume. On ramène à ce cas tous les cubages des constructions, avec une approximation bien suffisante pour la pratique, en substituant aux surfaces courbes une série de surfaces planes ou de surfaces sphériques, convenablement déterminées.

Lorsqu'il s'agit de trouver le volume exact d'un corps homogène et de faibles dimensions, quelle que soit l'irrégularité de sa forme, il suffit de le peser dans l'air

et sous l'eau ; la différence des poids en kilogrammes donne le nombre de décimètres cubes d'eau qu'il déplace et par conséquent son volume. Si l'on veut une plus grande exactitude, il faut tenir compte du volume d'air déplacé et de la température, corrections peu importantes et que le lecteur fera aisément dans chaque cas à l'aide des données indiquées aux articles AIR, DENSITÉ et EAU.

Comme certains corps sont poreux, ou solubles dans l'eau, la poudre de guerre par exemple, ce qui oblige à recourir à un autre intermédiaire, on a proposé de déterminer le volume des corps, par une méthode semblable, en mesurant le volume d'air qu'ils déplacent au moyen d'instruments qui ont reçu le nom de *voluménomètres*.

Le procédé a été imaginé par M. Say ; son appareil a été disposé d'une manière plus commode par M. Regnault. C'est celle que nous représentons fig. 3772.



3772.

Deux tubes manométriques, contenant du mercure, sont mastiqués dans une pièce en fonte FG qui les réunit par l'intermédiaire d'un robinet à trois voies H. Suivant que l'on tourne celui-ci dans une des positions 1, 2, 3, 4, on peut, 1° établir la communication entre ces tubes; 2° laisser écouler le mercure de A et de B; 3° de B seulement; 4° de A seulement. Le premier tube A est ouvert par le haut; le second tube B porte un renflement, et l'on a marqué deux traits B et K au-dessus et au-dessous de ce renflement. Si l'on amène d'abord le mercure en B, qu'on le laisse écouler ensuite jusqu'à ce que son niveau arrive en K et qu'on pèse la quantité sortie, on aura le volume V compris entre B et K.

Le tube B se continue par un autre tube plus fin qui se recourbe horizontalement et vient se mettre en rapport avec un ballon que l'on peut enlever à volonté ou joindre à l'appareil par un collier à gorge D. Il faut d'abord trouver le volume V de ce ballon et du tube jusqu'en B. A cet effet on remplit les tubes de mercure sous la pression atmosphérique jusqu'en K, puis on ferme le robinet E et l'on ajoute du mercure en A jusqu'au moment où le niveau arrive en B ; la pression augmente d'une quantité h que l'on mesure, et le volume de l'air, qui était $V + v$, se réduit à V. On a dès lors :

$$(V + v)\,H = V\,(H + h)\text{; d'où l'on tire } V = v\,\frac{H}{h}.$$

L'appareil est alors gradué, puisque l'on connaît V et v. Si l'on veut s'en servir pour mesurer le volume x d'un corps (qui n'absorbe pas sensiblement de gaz), on place celui-ci dans le ballon, ce qui diminue la capacité totale de ce ballon du volume x introduit; alors on répète l'opération ci-dessus décrite, on trouve deux pressions H et $H + h'$ correspondantes aux volumes $V + v - x$ et $V - x$, et l'on a :

$$(V + v - x)\,H = (V - x)\,(H + h') \text{ et enfin } x = \frac{Vh' - vH}{h'}$$

A cause de l'inconvénient indiqué de l'absorption du gaz par les corps pulvérents, le colonel Mallet a établi, avec le concours du constructeur Bianchi, un voluménomètre un peu différent du précédent, pour mesurer les densités de la poudre de guerre.

Cet appareil se compose d'un vase ovoïde en cristal et d'un tube barométrique, divisé en millimètres; le vase porte deux robinets en fer : l'un supérieur, pour intercepter la communication entre ce vase et le tube; l'autre inférieur et muni d'un tube effilé qui plonge dans une cuvette pleine de mercure; enfin, l'extrémité supérieure du tube barométrique peut être mise en communication avec une machine pneumatique. On comprend facilement qu'à l'aide de cet appareil on détermine le volume d'un corps solide, ou d'une poudre, avec beaucoup de précision : on fait le vide, puis on ouvre le robinet inférieur, et le mercure, après avoir rempli le petit ballon, monte dans le tube jusqu'à une hauteur sensiblement égale à la hauteur barométrique; ensuite on ferme le robinet inférieur et on laisse rentrer l'air par le sommet du tube. Deux pesées du ballon faites, l'une après une opération à blanc, et l'autre après que le corps a été placé dans le ballon, jointes aux éléments connus, qui sont la densité du mercure et le poids du corps, suffisent pour la détermination du volume et, par conséquent aussi, du poids spécifique de ce corps. Il est inutile de dire, sans doute, qu'une toile métallique, placée dans la douille supérieure du ballon, empêche les poudres de monter jusqu'à la surface libre du mercure. L'avantage de ce procédé consiste en ce que le corps solide, débarrassé de la plus grande partie de l'air adhérent, est réellement *mouillé* par le mercure, et l'appareil a été adopté par l'État pour toutes les épreuves réglementaires de la poudre; mais, pour certains corps très-compressibles, il faudra tenir compte de la diminution de volume qu'ils peuvent avoir éprouvée sous cette pression de deux atmosphères.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, 30, rue Mazarine.

ART INDUSTRIEL

Nous avons exposé dans l'introduction les motifs qui font d'une étude des beaux-arts appliqués à l'industrie le complément nécessaire d'une encyclopédie technologique. Avant de passer à l'exposé des principes qui peuvent être établis avec une précision assez limitée, car il n'y a pas à songer dans ce cas à suivre la voie logique des sciences positives, nous reproduirons quelques extraits de récents et excellents travaux dans la même direction dus à des esprits distingués, qui, par la conformité de leurs conclusions avec les nôtres, nous paraissent augmenter singulièrement la valeur de notre essai.

RAPPORT

SUR L'APPLICATION DES ARTS A L'INDUSTRIE

FAIT A LA COMMISSION FRANÇAISE DU JURY INTERNATIONAL DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE LONDRES.

Sous ce titre, M. de Laborde a traité d'une manière complète de toutes les questions relatives à l'art industriel, aux moyens propres à développer le goût des artistes et du public, pour assurer et grandir ce moyen puissant de prospérité de nos plus brillantes industries. A ce travail considérable qui doit être entre les mains de quiconque s'occupe d'art industriel à un point de vue quelconque, artistes, administrateurs, professeurs, etc., nous emprunterons seulement deux chapitres, qui sont des confirmations éclatantes, des vérifications des idées qui nous ont dirigé dans notre travail. Le premier montre combien l'Angleterre, frappée de l'infériorité, sous le rapport du goût, de sa puissante industrie, fait d'efforts pour monter au premier rang, et indique la voie suivie pour développer le goût d'une nation; le second montre parfaitement que l'art industriel est bien de l'art, et ne doit à aucun titre être séparé des beaux-arts qui lui fournissent les règles et guident ses progrès.

1° L'IMPORTANCE DES ARTS EST GÉNÉRALEMENT RECONNUE; EFFORTS FAITS POUR NOUS DISPUTER NOTRE SUPÉRIORITÉ.

Le public du Palais de cristal rendit justice à nos qualités d'élégance, de bon goût, d'harmonieux éclat et d'arrangement séducteur. Tandis que chaque nation visitait de préférence son exposition nationale, toutes les nations se réunissaient dans l'Exposition française, et on n'y entendait qu'un murmure approbateur. De cet examen un peu confus, de ces jugements assez discordants quant aux motifs, mais unanimes quant à l'admiration, découla une opinion toute favorable aux arts et à l'industrie de la France; mais en même temps trois révélations se firent jour qui vont servir de base à un plan d'attaques formidables contre notre suprématie.

En premier lieu, on acquit généralement cette conviction que les arts étaient désormais la plus puissante machine de l'industrie; en second lieu, chaque nation prit la ferme résolution de conquérir à tout prix ce mobile de nos succès; en troisième lieu, elles formèrent ce projet avec d'autant plus de confiance qu'elles se dirent que les arts, comme les sciences, sont la propriété commune de l'humanité, et qu'en les protégeant aussi bien et mieux que la France on pouvait atteindre aussi loin qu'elle et plus loin.

Dans les luttes que l'industrie de chaque pays a soutenues contre les industries rivales des pays étrangers, les armes dont elle s'est servie ont été le bon marché et le bon goût. Le bon marché tient à l'abondance des capitaux mis au service de l'industrie, à l'outillage plus ou moins perfectionné, au prix des matières premières, de la main-d'œuvre et du combustible. Le bon goût entre dans les habitudes d'un pays par une longue éducation artiste; il s'y maintient par les institutions qui l'entretiennent. Tous les grands pays industriels ont dirigé leurs efforts vers le bon marché; la France seule, par caractère, par disposition native et par cette éducation dont j'ai esquissé les principaux traits, a poursuivi la perfection de l'œuvre par l'intervention des arts dans l'industrie, par la bonne fabrication et les soins apportés à l'exécution des moindres détails.

Or, il se trouvait, en 1851, que tous les pays qui visaient au bon marché se disputaient entre eux le plus minime profit, au prix d'une immense fabrication, d'un excès de travail imposé aux ouvriers dans les temps prospères, de la misère et des crises commerciales les plus terribles dans les temps difficiles. L'Angleterre était sans rivale dans cette lutte de gros sous; mais le bon marché n'est pas un monopole facile à conserver, et l'Angleterre sent qu'il lui

échappe sous les efforts de la Belgique pour les tissus de laine peignée, pure ou mélangée, embellis par la contrefaçon habile des dessins français; de l'Amérique pour toutes les étoffes de coton, dont la matière première ne supporte aucuns frais de transport, aucun droit à payer; de la Suisse enfin pour les mousselines brodées, d'après des dessins de Paris et de Lyon.

Le tort de l'Angleterre avait été de n'envisager que cet unique côté de la question industrielle. Si elle s'était dit que le bon marché implique l'idée d'un objet d'une certaine élégance pouvant faire un service utile, et que hors de là le bon marché est ruineux, l'Angleterre aurait soigné davantage sa fabrication, et, en produisant moins, elle eût gagné tout autant. Pour la France, le bon marché consiste dans l'élégance de la forme, de l'arrangement, de l'ajustement, de la disposition générale; elle vise au bon marché de ce qui est séduisant, jamais au bon marché du laid et du grossier. A prix de revient égal des matières premières, nous devons l'emporter sur tous les marchés avec nos qualités de bon goût; car celles-ci ne nous coûtent rien, et elles ne relèvent d'aucune législation douanière. Ainsi s'explique aussi comment la France, médiocrement industrielle de sa nature, et qu'on n'avait pas comptée jusqu'alors sur le grand marché des peuples, se trouve, au moyen de ses charmants modèles, et d'une élégance qui lui est propre, en mesure de battre dans les qualités moyennes et supérieures l'Angleterre avec son immense outillage, ses capitaux et son vaste marché; la Suisse, la Belgique et l'Allemagne avec le bon marché de leur main-d'œuvre; l'Amérique avec les avantages que lui procurent le bas prix et l'abondance des matières premières.

On surprit alors notre secret. On vit qu'une étude persévérante de l'art nous avait donné cette force. Les arts devenus une puissance!

Une question futile et de dernier ordre, aux yeux des hommes graves, une préoccupation de gens à imagination vive, qui d'ordinaire ne comptaient pas dans les affaires sérieuses, devient désormais une question vitale et presque une question d'existence pour les nations. En effet, les beaux-arts, passe-temps élégant, étaient jadis réservés à quelques personnes auxquelles leur rang donnait ces goûts et leur fortune ces loisirs; hors de ce cercle restreint, les beaux-arts étaient considérés comme un luxe royal que l'industrie pouvait mettre à profit, mais dont personne, dans le gouvernement, ne devait se préoccuper, pas plus que des autres caprices du roi. Un sage ne l'a-t-il pas dit : Nous traitons les choses éternelles comme si elles étaient frivoles, et les choses frivoles comme si elles étaient éternelles?

Le duc de Rosny, l'ami de Henri IV, Sully, a été sans doute le dernier grand esprit qui, en France, aura traité les arts de babioles. L'année 1851 a été, à l'étranger, le dernier terme du triomphe des gens positifs, qui les comptaient parmi les superfluités. A partir de ce moment, on a compris que les sciences et les arts étaient les deux mamelles inépuisables où l'industrie prend sa nourriture et renouvelle ses forces; mais, au moment même où on leur reconnaissait cette importance, on tomba dans une autre erreur : on crut que la conquête de ce moyen de succès était plus facile que tous les autres.

Les nations étrangères se rencontrèrent donc, en quittant l'Exposition, dans cette pensée commune, qu'il ne suffisait pas d'avoir des machines, du charbon de terre, des capitaux, qu'il fallait encore avoir du goût, et comme le goût ne se trouve pas en terre, qu'il ne se fabrique ni ne s'achète, elles résolurent de faire les plus grands sacrifices pour, à l'imitation de la France, encourager les arts, non plus seulement au point de vue des jouissances délicates d'un petit nombre d'intelligences supérieures, mais sous l'influence des préoccupations les plus positives et les plus graves, dans le but de développer l'industrie, l'avenir commercial, le bien-être des peuples et la puissance des États.

Je ne crois pas utile d'exposer en détail les projets de chaque pays, les institutions qu'ils s'apprêtent à fonder, l'organisation nouvelle qu'ils préparent en faveur de leur art et de leur industrie : l'espace me manque. Il suffira d'établir comme un fait certain que l'Angleterre, l'Amérique, la Belgique, l'Allemagne, la Suisse, la Lombardie et la Sardaigne se préparent à nous disputer sur tous les points notre ancienne réputation et de nouvelles conquêtes. Dans vingt ans peut-être, nous nous rencontrerons à forces égales avec l'Amérique; aujourd'hui, c'est l'Angleterre qui nous menace, et c'est là que réside le danger. Les moyens de défense, ce que nous imaginerons pour le combattre de ce côté, seront autant de parades assurées contre les coups qui nous viendraient d'autre part. Examinons donc les projets de l'Angleterre.

J'ai montré plus haut comment les Anglais tendent à former une nouvelle école des arts sur les meilleures bases; j'ai parlé des résultats qu'ils obtiennent depuis vingt ans. Ces progrès méritent l'attention la plus sérieuse, soit que, désintéressé dans la lutte, vous les examiniez au point de vue élevé du développement des arts, soit qu'intéressé aux grandes questions internationales, vous n'envisagiez pas sans émotion l'immense outillage de l'Angleterre, son approvisionnement de charbon,

ses énormes capitaux, ses relations étendues et son esprit d'entreprise élevant l'industrie à une perfection inconnue jusqu'alors par la conquête nouvelle de toutes les séductions de la forme, du dessin, de l'arrangement et du goût.

On s'est demandé en Angleterre, presque de nos jours, pourquoi les Reynolds, les Geinsborough, les Wilson, les Wilkie, les Lawrence, étaient si rares, pourquoi chacun de ces artistes laissait après lui des chefs-d'œuvre et ne laissait pas d'école. Puis, passant de l'art à l'industrie, on s'est effrayé du désordre qui régnait dans les idées sur les différents styles, sur le système d'ornementation le plus sensé, sur tous les points où les règles du bon goût devraient contenir l'imagination et diriger la main. On était arrivé à cet état d'incertitude et de malaise qui précède les fortes résolutions, lorsque s'ouvrit l'Exposition de 1851. Cette exposition sera la renaissance de l'Angleterre. Ce qu'elle soupçonnait, nous le lui avons démontré; ce qu'elle cherchait, nous le lui avons apporté. Oui, elle a compris que les machines n'étaient rien sans l'art, elle a saisi du même coup d'œil le point vulnérable de son industrie, le secret de nos succès et l'explication de cette lutte sublime que nous soutenions contre elle, en pleine révolution, sans machines, sans capitaux, sans marine, sans débouchés.

Depuis longtemps déjà les hommes clairvoyants de l'Angleterre, ceux que des voyages sur le continent ont éclairés, s'affligeaient de l'état de dégradation, de barbarie même où se trouvait le peuple anglais dans ce qui touche au sentiment des arts et à ce qu'on est convenu d'appeler le goût. Ils faisaient des vœux pour qu'à l'imitation des autres pays, leur Gouvernement prit en main ce grave intérêt. Mais les Chambres avaient pour principe de ne pas intervenir dans ces questions; elles en laissaient le soin à ceux qui devaient en avoir le profit immédiat. Sous l'empire de ce laisser-faire, il ne se faisait rien. L'université d'Auderson, établie à Glasgow au commencement de ce siècle, donnait quelque instruction aux apprentis dans les courts moments de loisir que leur laissait la fabrique; Léonard Horner, Esq., fonda aussi à Édimbourg, en 1821, une école dans laquelle les apprentis apprenaient et apprennent encore à dessiner et à modeler: voilà tout ce que j'ai pu découvrir de favorable aux arts, appliqués à l'industrie, dans les trois royaumes, et cependant, poussée par le courant sourd et mystérieux de l'intérêt général, la Chambre des communes avait nommé, en 1835, un comité avec mission de « rechercher les moyens les plus efficaces pour « étendre la connaissance des arts et les prin- « cipes du dessin dans le peuple, et particu- « lièrement dans la population manufactu- « rière. » Les résultats de son enquête avaient été la fondation d'une école centrale de dessin à Londres, dans laquelle « l'élément principal « de l'enseignement ne devait pas être théo- « rique, mais pratique, et particulièrement « applicable aux manufactures, » et en outre l'établissement de vingt et une écoles dans les trois royaumes, aux frais de l'État, qui reconnaissait enfin, par cette intervention directe et cette allocation de crédit, qu'il était de son devoir d'encourager et de répandre la connaissance des arts.

Cette organisation, qui offre une apparence imposante sur le papier, était en réalité précaire et insuffisante. Les hommes éclairés dans les deux Chambres se réjouissaient d'avoir remporté une grande victoire sur le système du *selfsupporting*; mais en fait ils n'avaient donné à l'industrie qu'une assistance médiocre et impuissante. Aussi continua-t-on à venir, de toute l'Angleterre, chercher des dessins et embaucher des dessinateurs en France. D'autres fois, les fabricants anglais s'adressent directement aux dessinateurs français, qui ne sont plus, comme autrefois, attachés à une fabrique et exclusivement payés par elle, mais qui vendent leurs dessins au plus offrant; ils leur demandèrent des dessins; ils obtinrent souvent les meilleurs, et comme il fallait des ouvriers habiles pour les exécuter, ils débauchèrent les nôtres avec leurs contre-maîtres. C'est ainsi que nous avons trouvé l'habile M. Bontemps, ancien directeur de la verrerie de Choisy, à la tête de la plus grande verrerie de Birmingham; M. Arnoux, un porcelainier expérimenté, établi chef des travaux d'art de l'immense fabrique de Minton; Carrier, Jeannest, sculpteurs, et vingt autres artistes de talent attachés aux plus grandes maisons de l'Angleterre et de sa capitale.

J'ai vu des esprits très-fermes, des industriels remplis d'expérience, s'inquiéter de ces menées. Ils les appelaient déloyales, et je les trouvais de bonne guerre industrielle, puisque nous n'avons pas agi autrement avec l'Italie et les Flandres tant que nous avons eu besoin de leurs artistes et de leurs ouvriers. Ils les considéraient comme très-menaçantes, parce qu'ils voyaient notre élégance, notre bon goût, passer le détroit et s'acclimater en Angleterre; ils ne savaient pas que les arts, pas plus que les arbres, ne se transplantent vigoureux et tout venus. On réussit bien, avec mille peines, à en faire reprendre quelques-uns; la première année ils se couvrent d'une menue verdure et on applaudit, mais la seconde année déjà ils montrent des branches mortes et succombent bientôt dans le sol qui leur est étranger, dans l'air qui leur est contraire. Ainsi nos

artistes transfuges arrivent pleins de séve et d'imagination en Angleterre; ils ne savent pas ce que coûte l'exil, ce que pèse l'ennui, ce qu'il y a de décourageant à n'être pas apprécié par des intelligences sympathiques, à n'être pas compris par des ouvriers adroits; au bout d'un peu de temps l'artiste ne se reconnaît plus lui-même, lui et son patron sentent qu'ils ont fait un mauvais marché. Aussi n'ai-je pas partagé les terreurs qu'inspira généralement cet embauchage, précurseur et conséquence de l'Exposition; j'y vis un affaiblissement passager pour nos fabriques, un moyen de concurrence momentané au profit de nos voisins, deux maux effacés rapidement par le niveau montant de nos progrès, et je m'affermis dans cette conviction, que les colonies d'artistes et d'ouvriers étrangers peuvent dégrossir une nation, lui communiquer des procédés nouveaux, l'enrichir de quelques tours de main, mais qu'ils ne lui portent ni l'originalité ni l'initiative. Ils me rappellent la fable de *l'Alouette et ses petits, avec le maître d'un champ;* aussi me suis-je bien promis de ne m'inquiéter que lorsque les Anglais, au lieu de faire faire leurs dessins par nous, entreprendraient de les faire eux-mêmes, au lieu d'emprunter nos ouvriers formeraient les leurs. Or, c'est ce qui arrive aujourd'hui; c'est aussi ce qui m'inquiète.

L'Exposition de 1851, visitée par l'Angleterre entière, allait fermer ses portes, et les derniers visiteurs sortaient à peine du Palais de cristal, lorsque les lords du comité du conseil privé pour le commerce, frappés enfin, et à leur tour, de l'importance que les arts prenaient dans la vie sociale, dans les progrès industriels, et particulièrement dans l'extension du commerce, se réunirent et mirent à l'ordre du jour de la séance la discussion sur l'état des arts en Angleterre et sur les moyens de les faire prospérer. Il s'agissait, comme en toutes choses de l'autre côté de la Manche, de procéder pratiquement : aussi, sans faire une de ces enquêtes minutieuses comme les Chambres les exigent et comme les *blue-books* en attestent la puérile et volumineuse inutilité, on décida la création immédiate d'un département des arts appliqués (*of practical art*), on constitua son personnel et on demanda au Parlement de doter ce nouveau service. La facilité avec laquelle furent votés les crédits dans les deux Chambres est la meilleure preuve de l'assentiment que cette mesure avait déjà obtenu de l'opinion publique.

Avec ce département ministériel et ce budget voici ce qu'on a fait :

1° Une grande école centrale de l'art appliqué (*Metropolitan school of practical art*) a été établie dans Sommerset-House, en attendant qu'on la transfère dans les bâtiments plus considérables de l'hôtel Marlborough. Là se forment, à grands frais, des maîtres de dessin pour les écoles de toute l'Angleterre, et les jeunes gens qui se consacrent à cet enseignement sont non-seulement élevés gratuitement, mais on les paye, pour encourager leur persévérance et combattre les séductions des industriels qui cherchent à les attirer dans leurs établissements.

2° Une collection de plâtres et de modèles de toutes sortes, destinés à l'étude du dessin, est fabriquée pour le compte du Gouvernement et cédée par lui à toutes les écoles de dessin des trois royaumes, à des prix très-réduits et selon certaines conditions.

3° Un musée public d'objets d'art du moyen âge et de la renaissance a été commencé, d'abord avec un fonds de 115,000 francs, appliqués à l'achat de quelques-uns des meubles qui furent exposés en 1851; puis cette collection s'augmenta des objets de toute nature, art et industrie, anciens et modernes, achetés sur le continent par des agents qui ont eu à leur disposition plus de 600,000 francs; enfin elle s'enrichit à une source qui est toute spéciale à l'Angleterre et à l'Amérique, à la source des dons et des legs, à la source non moins utile des dépôts temporaires d'objets d'art du plus grand prix.

On s'aperçut bientôt que l'enseignement des sciences, qui se lie à celui des arts, avait une égale importance pour l'industrie et se trouvait dans le même désarroi. De ce moment il fut question d'adjoindre au département des arts un département des sciences, qui conduira forcément à un département de l'instruction publique. Dès la première année, le budget a été de près de 2,000,000 de francs (79,846 liv.), ce qui est une assistance très-respectable, quand on songe que le Gouvernement abandonne à peine son système d'abnégation.

Si je faisais ressortir uniquement les avantages que l'Angleterre a droit d'attendre de cette initiative de l'État et de cette organisation nouvelle des arts et des industries qui s'y rattachent, dans un pays où ils ont été laissés à eux-mêmes depuis plus de deux siècles, je ne ferais voir que le côté de la question le plus séduisant pour les Anglais et le plus grave pour nous; je jetterais inutilement des inquiétudes dans les esprits de nos artistes et de nos industriels. Il importe de l'envisager sous son autre face, afin de montrer que, tout en nous menaçant, l'Angleterre nous donne le temps de nous préparer à la lutte. En effet il a manqué, dès le début, à ces nouveaux départements ministériels les conditions de vie et de succès.

. . . .

. . . .

2° L'ART EST UN; IL EST LA SOURCE DE TOUS LES PROGRÈS.

L'étude, en vue d'une spécialité, dessèche et atrophie le talent; l'art, dans ses données supérieures, rend apte à toutes les spécialités. Qui dit spécialité dans l'art ne dit pas un art différent, et si l'on peut distinguer des genres distincts, suivant des aptitudes particulières, comme l'histoire et le paysage dans la peinture, comme l'art monumental et l'art appliqué à l'industrie, cela ne constitue pas des divisions dans l'art. Je sais que, suivant l'opinion vulgaire, le grand mur de la Chine élevé entre l'art et l'industrie est l'utilité, l'emploi, la destination pratique des œuvres. Ce qui n'est d'aucun usage, ce qui n'a aucune application possible, en peu de mots, ce qu'on range dans les inutilités, est de l'art, et comme tel devrait prendre le premier rang dans l'estime publique; tout au contraire, ce qui a sa destination, son but, son emploi, sa raison d'être, est de l'industrie et, à ce compte, placé vis-à-vis de l'art à un rang inférieur : ainsi la cime des monts, qui plane dans le pur azur du ciel, domine le fond bourbeux de la vallée où s'agitent nos misères. C'est là une erreur, un contre-sens, qu'il faut combattre et détruire à tout prix. Si je suivais le même ordre de comparaison, je dirais que l'art est le torrent qui prend sa source dans l'atmosphère radieuse des plus sublimes hauteurs, que l'industrie est ce même torrent devenu calme, large et navigable, portant à la mer les vaisseaux du commerce.

Bizarrerie inattendue! cette distinction de l'art et de l'industrie n'a de force et d'autorité que parce qu'elle est maintenue par les artistes supérieurs, parce qu'elle a pour appui les hommes de lettres. Ils ont dit : Vous n'avez d'autre préoccupation que de gagner de l'argent, vous n'êtes pas des nôtres. Nous sommes des hommes d'imagination, vous êtes des gens d'affaires; nous sommes des artistes, vous êtes des marchands. Ce désintéressement est-il bien vrai? N'ai-je pas entendu parler d'une loi de la propriété intellectuelle qui tarife les opéras : tant pour siffler un de vos airs; qui taxe les produits de l'imagination : tant pour reproduire une page de votre prose et de vos vers au bas d'un journal; qui défend vos tableaux : tant pour les copier et les graver; qui s'assoit à côté du château construit sur la hauteur et réclame un droit proportionné à la place qu'il occupe dans le paysage que j'ai dessiné. Vous tenez boutique d'œuvres de génie, et vous dédaignez Fourdinois, parce qu'il vend son dressoir, Morel, parce qu'il vend ses bijoux. Ah! j'admets, jusqu'à un certain point, la fierté de l'artiste de l'antiquité et du moyen âge qui, pauvre et désintéressé, portait la tête haute en voyant les métiers exploiter ses compositions, s'enrichir de ses idées. Il se disait avec un juste orgueil : Ce qui me distingue de cette foule, ce n'est pas l'art, nous sommes tous artistes, moi en tableaux et en statues, eux en bahuts sculptés et en orfèvrerie ciselée; ce qui me distingue, c'est le désintéressement, c'est la préoccupation unique de ma création, et, quand elle est parfaite, son abandon à la grâce de Dieu et au profit de tous, sans réserve de droits et arrière-pensée de lucre.

Reléguons donc ces classifications puériles dans l'antre des vieux préjugés; mais il est une distinction qui subsistera toujours, en dépit de la vulgarisation générale de la science et des arts que je prêche, en dépit de ces lois fiscales de la propriété artiste et littéraire que je réprouve, la distinction du génie et du talent élevé[1].

1. Un éminent critique, M. Delécluze, est revenu souvent sur cette distinction plus importante pour l'artiste que pour l'industriel. Je rapporterai ici un extrait d'un de ses articles à propos d'un ouvrage sur l'art au dix-huitième siècle :

« La prétendue distinction du beau antique et du beau moderne indiquée par feu de Stendahl, adoptée par la plupart des jeunes critiques, est, selon nous, ce qui embrouille toujours plus les questions d'art. Si, comme l'ont pensé les plus éminents philosophes, le beau est un, on le retrouve là où il est, quels que soient les efforts que l'on a pu faire pour le dénaturer. Mais cette qualité, dans son application aux arts, doit avoir des attributs indispensables : la simplicité, la force et la chasteté entre autres. Quelles que soient la pureté et l'élégance des formes, quand ces attributs viennent à abandonner le *beau*, il se transforme en *joli*, et la *Vénus* de Milo devient une Pompadour. En nous vantant l'art du dix-huitième siècle, c'est donc le *joli* qui est proposé pour but aux sculpteurs et aux peintres comme étant le *beau moderne*.

« Maintenant, en signalant à l'attention du public plusieurs publications nouvelles, nous touchons encore à la question du joli substitué au beau. Le goût de l'archéologie, qui a été appliqué aux moindres productions des arts, a peu à peu réduit la critique à montrer une impartialité qui va parfois jusqu'à l'indifférence. C'est avec une attention égale que l'on passe en revue les productions les plus importantes de l'antiquité, du moyen âge et de la renaissance, et les ouvrages modernes produits à une époque de décadence. On pousse même l'ardeur des recherches attentives jusque sur toutes les espèces de curiosités.

« Ce système de critique est certainement favorable à la science; l'est-il également à l'entretien du feu sacré, lorsqu'il s'agit du grand art, de l'art véritable? Sous prétexte de se montrer bon Français, n'y aurait-il pas quelque inconvénient, après avoir déclaré, comme l'a fait M. A. Houssaye, le règne de Louis XV une époque de décadence, à vanter outre mesure la plupart des productions plus que légères que ce siècle a vues naître? Cependant, ce défaut, poussé à l'extrême, il est vrai, par l'historien des arts au dix-huitième siècle, apparaît assez souvent encore dans les critiques publiées de nos jours. Or, cette impartialité excessive dont je parlais plus haut, qui fait envisager d'un œil également impassible le joli et le beau, diminue singulièrement l'autorité de la critique. Nul ne peut servir deux maîtres, et toutes les concessions que fait la critique en faveur de ce qui n'est qu'agréable diminuent d'autant ce qu'elle a d'autorité pour défendre le beau. Avec le goût qui se manifeste aujourd'hui pour la peinture frivole, au lieu de chercher à l'exciter encore, on devrait, ce nous semble, prendre le soin d'éclairer, non les amateurs dont les fantaisies sont incorrigibles, mais les artistes qui entrent dans la carrière. A force de complaisances et de concessions, on en est venu à réhabiliter, dans l'esprit des acheteurs de tableaux et d'un certain nombre de peintres, la manière des Watteau, des Bou-

Si l'on veut bien se reporter à l'exposé que j'ai fait de la création successive des anciennes institutions protectrices des arts et des résultats qu'elles ont donnés, on arrivera à cette conclusion : 1° l'art a sa vie propre en dehors de la nécessité de ses applications ; mais en s'appliquant à l'industrie humaine, loin de rabaisser sa mission, il l'agrandit. La théorie du beau, que Platon a développée dans son *Hippias*, paraît convenir mieux à l'industrie qu'à l'art, et cela seul prouverait combien l'un et l'autre se confondaient dans l'antiquité. Platon définissait le beau : *la complète convenance des moyens relativement à leur fin*. La fin, le but, devaient donc rester toujours présents à l'esprit de l'artiste, comme nous le conseillons à l'industriel, afin qu'une parfaite harmonie se voie, se sente même, entre les matières qu'il a employées, la forme qu'il a donnée, le genre de travail qu'il a adopté et l'usage auquel il destine son œuvre. Mais l'objet d'art n'ayant pas de destination, sa mission étant d'éveiller des sentiments, je voudrais ajouter quelque chose à cette condition subalterne du but, et c'est pour cela que j'indiquerai dans l'article suivant la mission de l'État. 2° C'est l'art dans sa pureté, et non pas l'art appliqué, qu'un gouvernement sage doit enseigner et encourager, parce que c'est à la source qu'une bonne ménagère va chercher l'eau pour l'avoir dans toute sa limpidité. 3° Il n'y a que deux modèles : la nature et l'art grec, l'un et l'autre se prêtant à l'interprétation de tous les sentiments, l'un et l'autre se pliant à toutes les conditions de nos besoins : la nature, image de la perfection ; les œuvres grecques, interprètes inappréciables de la nature, modèles à suivre pour l'imiter.

Si le Gouvernement enseigne et encourage dans ses écoles un art dégagé de toute application, ce n'est pas pour favoriser un art abstrait, indéfini, nuageux, insaisissable. On a dit, il est vrai, que l'artiste n'a toute sa puissance, toute sa force, que lorsque, dégagé des liens qui le retiennent à la terre, il s'élève dans les régions supérieures ; mais c'est une erreur à l'usage de la littérature : elle n'est partagée par aucun artiste sérieux, par aucun de ceux qui ont étudié pratiquement les arts et leurs moyens d'action. Tout au contraire, l'art, pour croître et s'élever, a besoin, comme la plante, de plonger ses racines dans le sol. Le terrain, ou la base de l'art, c'est sa raison d'être, sa destination, son utilité. L'architecte dresse son plan et arrête le caractère de l'édifice quand il en connaît l'usage ; le peintre fera sa composition après avoir vu la salle qu'il est appelé à décorer et avoir étudié le caractère de l'édifice, l'esprit qui l'habite, la foule qui y circule ; le statuaire sait qu'il dépend de l'architecte, il s'associe à sa pensée en s'harmonisant avec la place et le monument qui recevra sa statue ; l'orfèvre se rend compte des métaux et des matières qu'il met en œuvre, et de ces conditions elles-mêmes surgit dans la pensée des artistes la meilleure part de leurs inspirations. Quand l'art n'est que le luxe d'une nation, il se ressent du caractère superficiel et conventionnel de tous les luxes : quand il satisfait des besoins religieux ou civils, militaires ou domestiques, il acquiert une physionomie, il prend une consistance, un aplomb, une fermeté qui n'est pas le moindre caractère de sa beauté.

D'ailleurs, où finit l'art, où commence l'industrie ? Y a-t-il des natures autrement douées, des études différentes pour former les artistes selon leur destination ; et dites-moi, dans la liste sommaire que vous allez lire, où commencera la bifurcation industrielle ? Ghiberti était un bronzier, Benvenuto Cellini un orfèvre, Bernard Palissy un potier, Penicaud un émailleur, Pinaigrier un verrier, Briot un fondeur d'étain, Boule un ébéniste, Gouttières un faiseur de meubles. Voyez où cela nous mène : le trépied offert par les Grecs dans le temple d'Apollon ne pourra être considéré comme un objet d'art parce que c'est un trépied, et la *Joueuse d'osselets* des anciens, l'*Amiral Chabot* de Jean Cousin, la *Sapho* de Pradier, perdront leur caractère et leur mérite d'objets d'art parce qu'ils ornent une pendule.

Point de distinctions sottes et puériles ; l'État n'en fera aucune, il enseignera l'art dans toute sa pureté, en mettant sur la voie de toutes les applications qu'il est susceptible de recevoir.

cher, des Fragonard et des Baudouin. Nous comprenons que des critiques sincères reconnaissent dans les œuvres de ces hommes le talent avec lequel ils ont souvent fait usage de leur crayon et de leur pinceau ; mais comment s'expliquer l'espèce d'enthousiasme que causent les idées étranges, les goûts factices qui caractérisent leurs compositions ? Si en effet ces productions se rattachent à une époque de décadence de l'art, la recrudescence du goût que l'on éprouve pour elles ne serait-elle pas d'un triste augure pour la peinture de notre temps ?

« Cette question est livrée à la méditation de ceux qui aiment les arts et se chargent d'en surveiller la culture. Quant à nous, en remplissant ce grave devoir, nous avons toujours procédé par comparaison. Plaçant au point suprême les ouvrages où l'expression des sentiments et des formes a pour objet le vrai, le grand, le beau, nous n'avons admis qu'à des degrés graduellement inférieurs les différents genres des productions partant de l'expression du vrai pour tomber successivement de l'ordinaire dans le commun, et se relever en apparence en s'emparant des minauderies de la mode et de l'affectation du joli. Avec cette méthode, on peut se maintenir juste sans être complaisant. On rend hommage au mérite éminemment pittoresque de Watteau sans s'extasier sur le mérite de ses compositions ; le pinceau hardi, mais sec, de Boucher ne fait plus illusion, et les tableaux de Baudouin et de Fragonard provoquent à peine un léger sourire.

« En somme, ces peintres, et d'autres encore de ce temps, étaient pleins de talent ; mais il ne faut pas oublier que le talent ne conserve son empire que quand il est soutenu par le goût et l'amour de la vérité. »

Une question plus importante surgit ici : l'État doit-il restreindre ou étendre cet enseignement?

On s'est étonné, effrayé même de l'accroissement continu du nombre des artistes et de la multitude de leurs tableaux, statues, aquarelles et dessins à chaque nouvelle exposition; je m'en suis réjoui. Depuis cinquante ans ou entend une foule de niais répéter à l'envi : « A quel bon une Académie des beaux-arts, à quoi bon une école à Paris et à Rome, des écoles dans les départements? N'avons-nous pas assez de tableaux et de statues dont on ne sait que faire? N'avons-nous pas assez d'artistes qui meurent de faim? » Je leur ai répondu : « Depuis cinquante ans l'industrie française tout entière doit à ces statues inutiles, à ces artistes affamés, d'avoir lutté victorieusement contre la puissance des capitaux, la force des machines, et plus que tout, contre l'instabilité de nos gouvernements et les désordres de la rue. Dans cette Académie, dans ces écoles, se renouvellent, comme dans une source intarissable, les principes et les règles du bon goût, qui restent notre arme; et je mets cet intérêt en première ligne, comme étant le plus palpable, car je pourrais aussi parler de la gloire que fait rejaillir sur la France la supériorité de ses artistes, de ses savants, de ses hommes de lettres; leurs œuvres partout estimées, propageant au loin son nom et son influence. »

Laisserons-nous cet héritage se dissiper entre nos mains, cette force s'épuiser dans notre inertie? Aux époques où l'avenir était séparé du présent par des siècles de distance, les sages conseillaient de s'en préoccuper; dédaignerons-nous aujourd'hui ce conseil, quand l'avenir c'est demain? Où tend le progrès général? A répandre dans toutes les classes, avec le bien-être, l'instruction et le sentiment des arts. Cette tendance, rien n'en peut arrêter le développement; le suivre ne serait pas assez, le devancer est votre loi. La protection divine a permis que vous fussiez en avance sur toutes les nations, maintenez-vous à ce rang. La partie la plus intelligente, la plus éclairée de la nation est déjà artiste, faites que la nation tout entière le devienne; si l'on vous dit que l'art ne s'élève qu'emporté par l'inspiration et qu'il n'y a pas de procédé pour créer des hommes de génie, pas plus dans les arts que dans les lettres, vous conviendrez de cette vérité; mais l'extension de l'étude des arts à tous établit une immense base qui empêche qu'un homme de génie puisse rester inconnu, incompris ou négligé. Et d'ailleurs, *immédiatement au-dessous du génie règne le talent*, et quand le public sera composé d'habiles praticiens, les talents seront d'autant plus distingués qu'ils auront de meilleurs juges. Semez donc partout les bons et féconds enseignements : ce n'est pas la graine d'où naissent les génies, celle-là vient de Dieu; elle est jetée par ses anges, vrais oiseaux du ciel, sans que nous sachions pour quelle cause, dans tel sillon plutôt que dans tel autre, au printemps plutôt qu'en automne; mais l'enseignement des arts, répandu partout, formera comme une atmosphère favorable à l'éclosion du génie, à son développement, à ses admirables fruits. Le génie sera le sommet, le talent et le goût la base; plus loin vous étendez la base de la pyramide, plus haut s'élève son sommet. Le génie, c'est aussi l'élite, et pour avoir une élite, il faut créer une foule. L'élite est l'inconnue exceptionnelle dégagée de la foule; c'est le génie qui sommeille, et que cet appel général va réveiller partout où il est en germe.

Qu'appelons-nous génie, talent, goût des arts? Je veux le dire, pour éviter la confusion dans la grande fusion que je prêche. Voir, sentir, comprendre les beautés de la forme et les expressions de l'âme et avoir la faculté de les reproduire, c'est l'artiste complet, c'est l'homme de génie; voir, sentir, comprendre les beautés de la forme et les expressions de l'âme sans avoir la faculté de les reproduire, c'est le fait des artistes de talent, cœurs généreux qui luttent héroïquement avec la conscience de leur impuissance, qui font des œuvres applaudies de tous, excepté d'eux-mêmes; c'est aussi le fait des amateurs, gens de goût, qui reculent devant la lutte et se contentent de jouir des beautés de la nature et de l'art avec les heureuses facultés que Dieu leur a départies. Ne rien voir par ses yeux, ne rien sentir au fond de son cœur, ne rien comprendre de soi-même, mais par l'éducation première, par l'habitude de voir les chefs-d'œuvre de l'art, et à l'aide de toutes les ressources d'une intelligence sagace et vive, avoir acquis la faculté imitative des singes, l'agilité des écureuils et des mains de fées; produire sans relâche en copiant indifféremment tout ce qui est à la mode; gagner ainsi le pain quotidien, comme l'ouvrier remplit sa tâche de chaque jour, tels sont les artistes, ceux qu'au moyen âge on appelait si justement *gens de métier*, et qui pullulent, sans faire tort à l'art, en devenant les plus solides appuis d'une industrie supérieure à celle de tous les autres pays. Les cinq mille exposants de 1848, qui doivent être augmentés de quelques centaines de collègues aujourd'hui, et se monter à bien près de six mille artistes, peuvent être ainsi répartis dans ces trois classes : cinq hommes de génie, cent artistes de talent, cinq mille huit cent quatre-vingt-quinze ouvriers plus ou moins habiles, en architecture, peinture, sculpture et gra-

vure. Dans le monde lettré, ferai-je tort à quelqu'un en comptant aussi cinq hommes de génie, cent écrivains de talent, cinq mille huit cent quatre-vingt-quinze ouvriers de littérature, n'écrivant ni mieux ni plus mal que ceux qui ne se font pas imprimer, écrivant pour vivre?

Des esprits moroses s'effrayent de celle extension et de ces chiffres; ce qui m'effrayerait plutôt serait l'impossibilité de les centupler, car je ne connais pas pour les arts et les lettres de plus noble stimulant, de plus nerveux encouragement qu'un public délicat, éclairé dans son enthousiasme, compétent dans ses jugements. Pour l'industrie, l'avenir du progrès sera atteint quand des artistes supérieurs se feront industriels, quand des industriels intelligents seront artistes : une fusion intime de l'inspiration et de l'application, une association étroite entre l'imagination de celui qui invente et la main de celui qui exécute; association qui seule peut calmer la fougne de l'esprit, seule ennoblir et relever le travail de l'outil; association qui surtout maintient dans une juste proportion la part que l'industrie doit faire à l'art, la part que l'art doit faire à l'industrie pour que le meuble reste un meuble, en devenant un chef-d'œuvre.

3° MUSÉES D'ART INDUSTRIEL.

La constitution de musées d'objets remarquables par leur élégance est un des plus puissants moyens d'analyser le goût d'une nation. C'est ce qu'ont bien compris les Anglais, qui ont dépensé des sommes considérables pour créer rapidement d'utiles collections de cette nature.

Nous ne saurions mieux faire pour bien faire apprécier ce qu'elles doivent être que de reproduire le remarquable rapport fait par M. Natalis Rondot à la Chambre de commerce de Lyon, au sujet d'un musée de cette espèce, dont la fondation a été votée par les fabricants lyonnais, juges si éminemment compétents et en même temps si bien placés pour être à l'abri de toute illusion trompeuse, pour connaître l'utilité pratique de leur création.

L'utilité d'un Musée d'art et d'industrie à Lyon n'est pas contestable, car ce Musée deviendra une école nouvelle; il ne sera pas isolé, il sera à Lyon le complément des institutions qui servent à former le goût et à développer les dispositions artistes de la population. On avait appris autrefois à connaître l'importance de l'enseignement du dessin et de l'étude de l'art pour la Fabrique, et cela explique le rapide succès de l'école de dessin que le sculpteur Coysevox et le peintre Thomas Blanchet fondèrent à Lyon en 1677, et à laquelle la Chambre de commerce, créée vingt-cinq ans après, ne cessa de s'intéresser. On est encore de nos jours dans ces sentiments, et plus de trois mille enfants et jeunes gens suivent à Lyon, avec un grand zèle, les cours de dessin.

Si l'on est unanime pour vouloir la création d'un Musée, on n'est pas d'accord sur le caractère qu'il convient de lui donner.

Il faut bien reconnaître que l'on n'a pas généralement une idée nette de ce qu'un pareil Musée doit être, et, pour exprimer en peu de mots les diverses opinions qui se sont produites, nous dirons que les uns proposent comme modèle le *Musée du Louvre*, et les autres le *Musée de Cluny*; que ceux-ci veulent voir former un *Conservatoire des arts et métiers*, et ceux-là un riche *Cabinet de Dessins d'ornement*.

Dans la question présente, aucune de ces vues ne paraît juste. Il faut se garder d'être exclusif, et ne pas craindre de rapprocher les chefs-d'œuvre de l'art de ces ouvrages de l'industrie, de tout pays comme de toute époque, où l'on voit l'empreinte de l'art, du génie et du progrès.

On trouve d'ailleurs sur ce point de profitables leçons dans l'histoire du passé. Les œuvres des artistes et des hommes des métiers, aux temps de la renaissance et du grand roi, sont devenues nos modèles; cherchons quels ont été les leurs. A quelles sources ont-ils puisé leur inspiration élevée, originale et féconde? A quels exemples ont-ils dû ces styles d'un si grand caractère, qui montrent la pureté relevée par la hardiesse, et l'incorrection même toujours alliée à quelque beauté? En ce temps-là, chaque abbaye, chaque église avait son *trésor*; les rois, les seigneurs et les marchands opulents possédaient d'inestimables richesses. Tout ce qui avait du prix par l'art ou l'origine, le travail ou la matière, prenait place dans ces *trésors*, que l'on connaît par des inventaires authentiques et dont nos musées ne donnent qu'une faible idée. C'était alors que les cathédrales, remplies de reliquaires et de statues, formaient elles-mêmes, avec leurs bas-reliefs, leurs fresques et leurs vitraux, d'admirables musées. Toutes ces choses facilement accessibles ont agi d'autant plus vivement sur le goût et l'intelligence des gens de métier, qu'ils s'étaient mieux préparés à la dure école de l'apprentissage et par l'étude réfléchie de l'art antique; elles auraient de nos jours, dans les mêmes circonstances, le même effet, et la Fabrique de Lyon, qui a de fortes écoles, doit avoir aussi son *Trésor*.

Dans cet esprit, le Musée projeté ne serait ni un musée d'art ni un musée d'industrie; il réunirait l'un et l'autre, et aurait un caractère bien tranché, un cachet tout à fait local; il compléterait les musées de peinture, de sculpture et d'antiquités du Palais des arts, sans faire en aucun cas double emploi avec eux. Ce Musée

serait indépendant, indépendant des collections dont nous venons de parler, comme des écoles (l'école de la Martinière et celle des beaux-arts) d'où sortent les contre-maîtres et les dessinateurs de la Fabrique. Il ne peut pas avoir, en effet, pour objet d'aider à l'enseignement, car on ne saurait admettre pour l'enseignement que l'art le plus pur, que les modèles du grand art grec, les vrais maîtres des Pérugin, des Donatello, des Léonard de Vinci, des Michel-Ange, des Raphaël, des Jean Goujon.

L'action du Musée doit s'exercer sur un plus vaste champ. Sans doute, il éveillera et développera le sentiment du beau, il formera le goût, mais surtout il sera pour la Fabrique un fonds commun, où l'on sera assuré de trouver tout ce qui peut servir l'inspiration, élargir et élever les idées, résoudre les difficultés et réaliser de nouveaux progrès. On y viendra étudier les ressources décoratives imaginées et développées dans les grands siècles, chercher le secret de la simplicité, de la grâce et de la distinction des Grecs, de l'harmonie et de la délicatesse du coloris des Orientaux, et cet autre secret d'approprier, avec une heureuse mesure et un sentiment artiste, le style aux matériaux et aux destinations.

Un pareil but, pour être atteint, suppose une organisation forte et large, créée en vue des besoins du présent et en prévision de ceux de l'avenir. Assurément, il n'est pas permis d'avoir l'espérance de fonder dans un bref délai ces collections, sur la nature desquelles on est encore si divisé; elles ne sauraient être improvisées sans qu'il en résultât des regrets. Le temps importe peu d'ailleurs en pareille question, quand le plan est arrêté et résolûment mis à exécution.

Le Musée projeté doit comprendre plusieurs divisions principales. *L'art*, *l'industrie* et *l'histoire* peuvent donner lieu à trois départements distincts en apparence, mais liés intimement par une pensée commune, par celle à laquelle le Musée doit sa création.

Le *département de l'art* présenterait lui-même des divisions nécessaires, car si le *beau* n'a ni âge ni patrie, s'il est un, absolu et inflexible, il comporte la variété dans l'unité et la liberté dans la règle; il revêt, selon le pays et selon le temps, des formes diverses, également originales, inégalement admirées, qu'une même noblesse anime et qui introduisent dans le domaine du travail humain une merveilleuse variété. Il faut reconstituer par les monuments les grandes époques de l'histoire de l'art; mettre en relief, avec un soin discret et persévérant, ce qui, dans le dessin, le coloris, la composition, dans le style, en un mot, est le caractère vrai de l'ornement d'un siècle et du génie d'un peuple, et se rapproche le plus du type éternel et insaisissable de la beauté idéale.

Cette vue conduirait à adopter le système de la division d'une aile du Palais en salles qui seraient ouvertes sur une galerie commune; chacune de ces salles serait consacrée au style d'une ou de plusieurs époques, d'une ou de plusieurs nations.

Ces salles pourraient être au nombre de dix, et se succéder dans l'ordre suivant, comme M. le comte de Laborde l'a proposé pour le classement de la collection de moulages de l'École impériale des beaux-arts de Paris.

1° Les nations primitives : les Assyriens, les Égyptiens, les Hindous, les Persans, les Chinois, les Japonais, les Péruviens, les Mexicains, les peuples du Nord;

2° Les Grecs;

3° Les Romains et les Grecs pendant l'Empire;

4° Les Byzantins;

5° Les Arabes;

6° Le roman et le gothique;

7° La renaissance;

8° Le XVIIe siècle;

9° Le XVIIIe siècle;

10° Le XIXe siècle.

Nous n'attachons pas une importance égale à ces divisions. L'art grec aux IVe et Ve siècles avant l'ère chrétienne, cet art incomparable, dont Polyclète et Phidias représentent la grandeur, et Lysippe et Praxitèle la perfection, occupera le premier rang. On peut ouvrir aussi un large espace à l'art traditionnel et délicat de l'Orient, à la renaissance au temps de Laurent de Médicis et de Léon X, de François Ier et de Henri II; et comme, en présence du génie athénien, cet éclectisme ne saurait faire ebanceler le sentiment de la beauté véritable, on doit ne dédaigner aucune école : jusque dans l'art scandinave, péruvien, hindou, chinois, est une sorte de beauté marquée au coin d'un idéal étrange.

Chaque salle renfermerait les œuvres d'art ou d'industrie appartenant à l'époque ou au peuple auquel elle serait affectée : mosaïques, statues, bas-reliefs, bois et ivoires sculptés, laques, bronzes, vitraux peints, miniatures, émaux, faïences et porcelaines, pièces d'orfévrerie et bijoux, armes et armures, fers ciselés et repoussés, tapisseries et ornements d'église, broderies et tissus.

On pourrait réserver à l'extrémité de ces galeries un salon qu'occuperait plus tard une collection choisie, soit des ouvrages qui présentent les plus beaux types de l'ornement grec, soit de chefs-d'œuvre ou d'objets précieux.

Il conviendrait d'avoir aussi une petite galerie de tableaux de fleurs; il n'est pas douteux qu'avant peu de temps, chacun y aidant,

on posséderait des toiles des Breughel, de Jean-Baptiste Monnoyer, de J.-D. de Heem, de Van Huysum, de Van Spaendonck, de Van Dael, de Dechazelles, de M. Saint-Jean, etc.

Une salle serait destinée aux *fleurs*. Elles sont les éléments essentiels de tout ornement, les modèles les plus heureux dont l'art se soit inspiré, et offrent des diversités infinies de forme, de port et de couleur. Le bienfait serait grand de réunir des dessins fidèles et des photographies des plantes et des fleurs les plus belles, tant de l'Amérique que de l'Australie, de l'Inde que de la Chine et du Japon. La seule famille des orchidées ne présente-t-elle pas un type d'ornement d'une beauté singulière?

Un peintre lyonnais, qui est une des gloires de l'art en France, M. Saint-Jean, écrivait en 1855 : « Nos dessinateurs ne se retrempent peut-être pas assez dans l'étude si riche, si brillante et si variée que la nature leur offre. » M. le comte de Laborde avait dit en 1852 : « La décadence nous envahit... La France semble une terre épuisée que dorent encore les épis de la dernière moisson. » Ce fait a été signalé avec plus d'énergie par d'excellents esprits, et M. Louis Reybaud s'est fait récemment l'écho de ces critiques devant l'Académie des sciences morales et politiques : « On vit sur le passé et on n'invente pas, a-t-il dit; les mêmes motifs se retrouvent, et l'harmonie est sacrifiée à l'éclat. » Camille Beauvais voyait, il y a trente ans, dans cette *monotonie*, « une des causes de la rivalité qui se prépare chez nos voisins. »

Si le Musée que la Chambre de commerce veut fonder devait ne servir qu'à rendre plus faciles les emprunts au passé, il n'y aurait pas lieu, à coup sûr, de s'y intéresser vivement; mais c'est notre espérance qu'en présence de ces œuvres célèbres et de ces styles divers on verra mieux l'impuissance des procédés actuels, et que l'on abandonnera cette voie battue de l'imitation mesquine, sans but, sans honneur et sans succès. Des esprits réfléchis et des crayons habiles comme il y en a tant à Lyon sentiront mieux, devant les grands modèles, qu'en matière d'art (et qui dit *art* dit *ornement*) la tradition et le sentiment antiques sont la vraie source de l'inspiration et de l'originalité. C'est la recherche et la contemplation passionnées d'une beauté idéale qui ont conduit l'école de Phidias à la perfection. Nous ne demandons pas aux dessinateurs lyonnais ces études et ces recueillements difficiles loin des hauteurs sereines où l'art se mesure avec la nature; nous voulons qu'ils relèvent hors de l'atteinte des rivalités étrangères le niveau de l'art modeste dans lequel ils sont maîtres encore; nous attendons d'eux encore plus de verve, de souplesse, d'harmonie et de grâce, car c'est à eux qu'échoit la tâche ingrate de concilier ces deux goûts souvent contraires, l'art et la mode.

Revenons aux fleurs. Toute l'ornementation égyptienne, dont on connaît la grandeur, l'élégance et la richesse, se rapporte à trois types, à trois plantes, au lotus, au palmier et au papyrus. L'ornement de la Grèce et de Rome repose sur l'acanthe et deux ou trois feuillages, et celui du XIIIe siècle a pour type une feuille à trois ou à cinq lobes. N'y a-t-il que ces types dans la nature, et à ceux-là seuls l'art est-il essentiellement lié? Non, certes; le nombre est grand, parmi les cent mille espèces de plantes répandues dans le monde, de celles qui ont la beauté de la forme ou de la couleur, et dont un art ingénieux et savant peut tirer de nouveaux sujets d'ornement. L'homme exercé à bien voir trouvera des ressources inattendues et précieuses d'ornementation dans les attitudes et les enlacements naturels des plantes, dans les charmants et harmonieux effets que présentent le rapprochement et l'accord de tant de vives couleurs.

Les fleurs sont donc des sujets d'étude excellents, et doivent occuper dans le Musée une des principales galeries. Mais, hâtons-nous de le dire, les traits de la beauté sont divisés dans la nature, et celle-ci ne donne que le motif et le principe de l'ornement; c'est à l'art de se l'approprier, de le compléter, et de faire de la fleur cette imitation conventionnelle où l'on retrouve, avec le sentiment de l'idéal, la noble et gracieuse simplicité du modèle. Pour cette raison, auprès des fleurs il convient de placer les tableaux de fleurs, qui sont une première et libre imitation marquée au coin du beau, les bouquets de fleurs reproduits par le dessin ou la photographie qui les présentent sous des aspects nouveaux, et ce que l'on peut appeler la *flore architectonique*, qui nous montre comment les anciens, les Orientaux et les artistes du moyen âge ont appliqué les fleurs à l'ornementation. . . . .

4° LES VASES CHINOIS ET LES VASES GRECS.

Nous donnerons ici quelques extraits d'une étude comparative sur les produits d'industries similaires, publiée dans la *Revue des Deux Mondes* par un archéologue éminent, M. Beulé. C'est, il nous semble, un modèle des travaux de ce genre; on y trouve le vrai sentiment de l'art, des principes supérieurs qui peuvent seuls diriger dans de semblables comparaisons.

Les Grecs ont fabriqué des vases peints avant les Chinois; ils en ont fabriqué pour tous les usages; leur commerce les portait jusque dans les colonies les plus reculées. Déposés dans les tombeaux, ces vases se retrouvent aujourd'hui par milliers; les musées de l'Europe en sont remplis; les particuliers se les disputent au

poids de l'or. Cependant ils n'effrent ni la belle pâte, ni les couleurs éclatantes, ni l'émail transparent de la porcelaine chinoise : un peu d'argile rougie par la cuisson, quelques lignes pour tracer les figures et les ornements, un vernis noir sur les fonds, rien de plus simple que les procédés de l'industrie hellénique. Seulement cette industrie se rattachait à l'art par les liens les plus étroits : de là sa grandeur. Elle empruntait à l'art ses compositions et son style ; elle était exercée quelquefois par de véritables artistes, qui signaient leurs œuvres. Les figures sont belles, savamment dessinées, d'une proportion noble. Les dieux, les prêtres les vieillards appuyés sur leur bâton, les guerriers mourants, les jeunes gens dans le gymnase, les vierges à la fontaine, les enfants poussant leur balle ou leur cerceau, les personnages des scènes familières aussi bien que ceux des tableaux héroïques, — tous révèlent, malgré la rapidité du pinceau, je ne sais quel instinct de l'idéal ou quelle science des modèles déjà créés qui reproduit sur les vases les plus simples des types admirables, de sorte que, si les antiques des musées venaient à périr, si Pompéi et ces dépouilles recueillies à Naples étaient ensevelies de nouveau par le Vésuve, si nos petits-fils retournaient à la barbarie, les vases suffiraient pour assurer à la nation grecque l'honneur immortel de sa beauté. . . . .

Quelles que soient la fécondité et la souplesse de l'esprit chinois, il manque d'élévation ; il ne ressemble en rien à l'intelligence supérieure qui anime les sociétés fondées par la race indo-européenne. Un peuple qui ignore les inspirations fières du spiritualisme, le sentiment de l'infini, l'amour de la beauté qui se poursuit toujours, ne saurait atteindre à une grandeur véritable ni dans les lettres ni dans les arts. Uniquement appliqués à la pratique de la vie, les Chinois ne sortent point du cercle étroit de l'expérience : leur âme n'a pour horizon que l'utile, les jouissances matérielles, les caprices stériles de la fantaisie, de même que le maintien du passé fait toute leur sagesse, et le culte des ancêtres toute leur religion. Aussi l'art n'est-il pour eux qu'un enchaînement d'inventions techniques et de routine : son but est de satisfaire les besoins, d'ajouter le luxe au bien-être, de contribuer aux splendeurs du commerce ; mais la recherche désintéressée des principes, l'étude dans le secret de l'atelier, les douceurs généreuses du génie, le feu sacré que le Prométhée des Grecs dérobait au ciel, il n'y a point de cases pour ces instincts sublimes dans le cerveau d'une peau jaune.

Il n'y a en Chine, à proprement parler, que des industries, c'est-à-dire des applications professionnelles de l'art; seulement ces industries brillent d'un éclat très vif, parce que l'art, qu'elles ont absorbé, leur communique à leur insu la délicatesse, l'élégance, le goût de la richesse, et surtout de la décoration. On a remarqué chez les Grecs l'irrésistible rayonnement des arts, qui s'est étendu jusqu'aux fabrications les plus viles. Tous les meubles de Pompéi dénotent un sentiment exquis de la proportion, de la ligne, de la forme ; les détails d'ornementation sont empruntés directement aux plus beaux motifs de l'architecture ou de la sculpture. Les ustensiles de ménage participent à ce noble caractère. Les Chinois peuvent être comparés aux Grecs par ce côté, bien que les deux effets aient eu dans les deux pays des causes opposées. Tout ce qu'ils fabriquent porte un cachet d'art, superficiel, mais incontestable : leurs métiers les illustrent, et les œuvres de leurs artisans ressemblent parfois à des œuvres d'artiste. Aussi la porcelaine, leur titre principal à notre admiration, donne-t-elle la mesure la plus juste de leur talent naturel pour la peinture. Dans les petites choses, il faut un peu d'instinct et beaucoup de routine : leur habileté à décorer de la pâte de kaolin durcie au feu n'a jamais été surpassée par les fabriques célèbres que leur exemple a suscitées sur notre continent. C'est pourquoi je ne crois point faire un honneur trop grand aux Chinois ni un affront aux Grecs en rapprochant les produits céramiques de l'un et de l'autre peuple, produits qui demeurent inimitables.

Sur les vases de la Chine, l'homme n'a pas plus d'importance que les fleurs, les arbres, les animaux ; il est rendu avec moins d'exactitude, sans aucun souci des principes du dessin. Pour les Chinois, les accessoires sont le principal : les papillons et les fleurs sont leur triomphe; ils copient avec une religion digne des enlumineurs de missels ; ils suspendent dans le vide, au mépris des lois de la perspective, kiosques, arbres, ponts et bateaux ; ils gardent toutes les caresses de leur pinceau pour les monstres les plus horribles ; minutieux dans les petites choses, négligents dans les grandes, incapables de poursuivre un but plus élevé que les fantaisies d'une imagination puérile. Il serait impossible de rencontrer deux systèmes plus opposés, puisqu'ils atteignent aux deux extrêmes limites de la convention, — l'idéal et la chimère : l'un amoureux de la forme, l'autre de la couleur; celui-là rivalisant de noblesse avec l'art, celui-ci tournant volontiers à la caricature; le premier n'étudiant que l'homme, et répétant les types les plus parfaits; le second ne s'attachant qu'au monde extérieur, plus curieux de couvrir par sa fécondité déréglée la surface entière des vases que de chercher une composition en sage ou saisissante et belle par la proportion. En un mot, je reconnais, d'un côté, l'esprit de mesure sans lequel l'art ne ren-

contre jamais les lois qui le constituent; de l'autre, l'esprit d'ostentation qui a toujours été par excellence l'esprit des Asiatiques.

Les Grecs étaient ce que les Chinois n'ont jamais été : des penseurs et des peintres. Ils étaient en outre des sculpteurs, tandis que les Chinois semblent avoir pour génie l'horreur de la forme. Est-il besoin de montrer combien l'art céramique se rattache à la sculpture, et combien le sentiment plastique lui est nécessaire? Que l'on pétrisse l'argile pour en tirer les contours d'une statue ou le galbe d'un vase, il faut le même amour des lignes pures, les mêmes caresses pour la matière, la même volupté au bout des doigts. Je ne prétends point que les Chinois n'aient point inventé de belles formes; c'est parce qu'ils en ont trouvé quelquefois que je suis d'autant plus sévère pour l'ensemble de leurs œuvres. Cette conclusion paraîtrait uniquement bizarre, si je n'essayais de la justifier par quelques développements.

Dix-huit ou vingt siècles avant la découverte de la porcelaine, la Chine fabriquait des vases de bronze remarquables par le nombre, la variété, la fonte, les ornements, l'élégance. Dans ce pays, comme dans l'antique Égypte, il faut remonter plusieurs milliers de siècles pour rencontrer la meilleure époque de l'art, car les sociétés sont soumises aux mêmes lois que les individus en vieillissant outre mesure : elles ont beau se rattacher au passé, la décadence les attend. Les plus beaux vases portent les dates de la dynastie des *Chang* (1766-1372 avant Jésus-Christ), de celle des *In* (1372-1122), de celle des *Tchéou* (1122-248). Leurs formes furent copiées plus tard dans les fabriques de porcelaine. De même la Grèce, avant de façonner l'argile et de la peindre, avait rempli ses temples, ses trésors, ses demeures, de vases en métal. Dans la période féconde, quoique peu connue, qui précède le siècle de Périclès, les artistes les plus célèbres employaient ainsi l'argent et le bronze. Ils exécutaient les cratères magnifiques que les rois de Lydie ou les tyrans de Samos consacraient dans le sanctuaire de Delphes. Tant de chefs-d'œuvre étaient malheureusement destinés à périr. Les matières précieuses, au lieu de leur assurer une éternelle durée, les signalèrent plus tard à la cupidité des barbares. Les vases chinois eurent un autre sort. Recueillis avec une intelligente sollicitude, ils remplissent le musée impérial de Péking; ils ont été dessinés, décrits, publiés en 1751 dans un grand ouvrage que possède notre bibliothèque de Paris.

On est frappé tout d'abord, en le parcourant, par la singulière imagination qui a enfanté des formes innombrables, les plus vulgaires et les plus élégantes, des caprices insensés et des combinaisons heureuses, des monstres hideux et de charmantes arabesques, des contours sans fin et des proportions excellentes. Entre ces deux extrêmes, il y a toute une série de nuances; mais les belles formes sont l'exception. Souvent, quand la décoration est exquise, le galbe du vase est mauvais; s'il est bon, quelque accessoire fâcheux détruit l'effet des lignes : rien n'est plus rare qu'une œuvre irréprochable. Les cornets seuls doivent à la simplicité de leur principe une correction constante. On remarque avec surprise que parfois les Chinois ont trouvé les mêmes types que les Grecs. Tels vases lagènes, telles amphores, tels cratères, seraient dignes de la Grèce, si une monture sans style, si des anses grotesques ne gâtaient la pureté du contour. Je me hâte cependant d'ajouter que certaines pièces eussent figuré avec honneur dans les ateliers de Corinthe ou d'Athènes. On conçoit qu'une fécondité déréglée, en essayant de tout, rencontrât quelquefois juste. La fantaisie qui tordait la matière et lui demandait l'impossible en faisait jaillir parfois un éclair subit. De même qu'un malade fiévreux prononce dans son délire des mots sublimes sans en avoir conscience, de même les artistes chinois n'avaient pas conscience des beautés qu'ils venaient de créer. Au lieu de s'y attacher, ils couraient plus loin, pour retomber dans les formes bizarres et confuses. Ils portent donc leur propre condamnation. Trouver le beau sans le comprendre, un principe vrai sans en arrêter la formule, c'est la cécité morale; en toutes choses, l'infériorité de race se trahit.

Ainsi, malgré des ressemblances fortuites, les Grecs et les Chinois sont arrivés aux résultats les plus opposés dans l'art céramique. Les uns ont appliqué leur science du dessin sans y joindre le charme de la couleur; les autres cherchent le jeu des couleurs sans aucun souci de la science du dessin; les premiers, n'attachant qu'une faible importance à la qualité de la matière, tiraient d'une poignée d'argile des formes admirables; les seconds, insensibles à la perfection des formes, s'efforcent d'obtenir les matières les plus splendides, qui éblouissent le regard à la façon des pierres précieuses. C'est pourquoi les Grecs ont élevé la fabrication de leurs poteries à la dignité d'art, tandis que les Chinois ont laissé leur porcelaine au premier rang parmi les magnificences de l'industrie.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, 30, rue Mazarine.

DE L'ART INDUSTRIEL.

DÉFINITION.—IMPORTANCE.—CLASSIFICATION.

La vue de tout produit créé par le travail industriel éveille nécessairement en nous deux idées, l'idée d'utilité et celle de beauté.

L'utilité se rapporte aux besoins qu'un produit peut satisfaire, aux propriétés naturelles des matières premières employées, aux qualités que le travail lui a fait acquérir. Cette dernière considération nous conduit à l'étude des procédés de la fabrication qui, indépendamment de ses applications, offre tant d'intérêt dès qu'on vient à reconnaître que les transformations opérées par l'industrie résultent de l'emploi bien entendu des lois naturelles. L'intelligence de celles-ci fait naître tous les grands progrès, fournit les merveilleux moyens d'action sur la nature qui sont la gloire de notre siècle; en un mot, le travail industriel est l'utilisation des connaissances scientifiques.

La beauté n'éveille pas en nous la même curiosité quant aux procédés techniques; nous admirons dans un produit l'élégance de la forme, la beauté des décorations, sans trop penser aux difficultés que sa création a pu rencontrer. Or, ces questions d'élégance de forme, d'harmonie, de proportions des couleurs ne sont autres que celles qui appartiennent au domaine des beaux-arts, qui ont pour objet de créer des œuvres par lesquelles on ne se propose, en général, d'atteindre aucun but d'utilité. C'est donc dans l'art pur que l'industrie doit aller chercher ses modèles, ses principes de beauté, absolument comme c'est dans la science pure que se trouve le point de départ des procédés techniques de l'action de l'homme sur la nature.

Tels sont les deux pôles de toute production industrielle « la science et l'art »; en tout produit se réalise leur liaison intime; il faut emprunter à l'un et à l'autre ce qui est nécessaire pour qu'un produit remplisse les conditions d'utilité et de beauté auxquelles il doit satisfaire.

L'art entre donc pour une grande part dans la production industrielle, et c'est souvent la plus importante. En général, c'est en cherchant à satisfaire aux besoins et aux désirs de l'homme, que l'industrie se propose de créer des objets non-seulement utiles, mais encore pour lesquels la forme, l'harmonie des proportions et des couleurs sont éminemment précieuses, et qu'elle rencontre l'art. Tandis que la question de convenance domine surtout pour nombre de productions placées à certaine distance de la consommation directe, comme dans l'agriculture, l'extraction des métaux, la construction des machines, etc., celle-ci est subordonnée à l'art et disparaît presque, bien qu'elle ne doive jamais être oubliée, sous le besoin d'élégance, quand il s'agit de la multitude d'objets qui servent à la satisfaction de nos besoins journaliers, avec lesquels nous vivons en quelque sorte, comme les habitations, les vases, les vêtements, les meubles, etc.

Pour ces produits, créés par une industrie prospère, dans un état de civilisation avancée, la bonté de la fabrication ne suffit pas, il faut y joindre l'élégance, le charme. C'est une condition essentielle de succès pour les nations qui cherchent à exporter certains produits de leur industrie, qui prétendent leur donner une supériorité sur ceux des autres nations, et il leur faut pour cela utiliser tous les éléments que l'étude des arts peut fournir.

Mais les notions sur l'art que nous pouvons posséder s'appliquent-elles directement à l'industrie pour guider le producteur?

Pour bien répondre à cette question, il faut se reporter à l'autre base de l'industrie, aux sciences pures. Les mathématiques, la mécanique rationnelle, etc., déductions logiques d'éléments purement intellectuels, seuls ou mélangés avec quelques données fondamentales fournies par l'expérience, ne peuvent s'appliquer directement à la pratique; elles servent à créer, à cet effet, des sciences intermédiaires, des sciences appliquées. Nous citerons comme exemple parmi celles-ci la mécanique physique, qui procède de la mécanique rationnelle, mais dans laquelle on fait entrer les propriétés physiques des corps, non plus telles que nous les concevons abstraitement, mais telles qu'on les déduit des résultats d'expériences nombreuses.

La théorie des arts industriels qui peut être directement utilisée doit se concevoir de la même manière que celle des sciences appliquées. Elle procède de celle des beaux-arts, pour laquelle seule ont été faits de grands travaux qui résument le savoir des artistes célèbres, qui étudie le beau en lui-même, qui en cherche la traduction par des œuvres qui le rendent perceptible, sans se proposer aucun but étranger; mais elle en est une modification spéciale à chaque cas particulier, en raison des moyens de matérialisation dont l'industrie dispose, et de la convenance à laquelle le produit industriel doit satisfaire.

Il résulte de ceci que les arts industriels s'éloigneront d'autant plus des beaux-arts proprement dits, que la nature des œuvres que produisent ces derniers sera d'être moins susceptible d'avoir un emploi utile, de servir à la satisfaction de nos besoins. C'est pour cela que la musique ne peut en faire partie; que la peinture n'y occupe qu'une place peu en rapport avec celle si considérable qu'elle tient dans les beaux-arts, parce que la condition d'utilité en la dominant fait disparaître tout idéal, toute aspiration d'un ordre supérieur. Jamais en déposant quelques couleurs sur une étoffe on ne pourra se proposer de faire un véritable tableau. Pour la sculpture au contraire,

le produit industriel viendra souvent se confondre avec celui de l'art pur; ainsi, par exemple, la pièce d'orfévrerie sur laquelle on fera naître des formes qui devront plaire à l'œil, pourra bientôt devenir une véritable œuvre d'art; il n'y a de différence essentielle (en laissant de côté les conditions commerciales de bas prix de revient) que dans la nécessité d'employer certains éléments commandés par l'utilité, ou des proportions trop réduites, ce qui trace souvent une ligne de démarcation entre le produit industriel et celui purement artistique. Enfin, l'architecture traitant essentiellement d'une utilité, d'une construction, est, par sa nature intime, un art industriel.

C'est donc l'accord du beau et de l'utile, de l'art et de la convenance au point de vue de l'usage, qui forme la base de tout l'édifice de l'art industriel. Ce qui précède rend compte des limites que nous devrons souvent nous imposer pour ne pas sortir de notre sujet.

Nous venons d'indiquer la haute portée intellectuelle des questions que nous avons à étudier dans ce travail; mais ne fût-elle pas comprise, que, dans l'ordre des faits, traduction toujours fidèle des phénomènes de l'esprit humain, la vaste étendue du champ de l'art industriel, des applications des beaux-arts à l'industrie, qui comprend presque tous les produits qui nous entourent, suffirait pour faire apprécier à quel degré il est nécessaire de s'y arrêter. Cet élément de succès pour les nations comme pour les individus est le plus souvent négligé dans les meilleurs ouvrages sur la production où le côté technique, celui de l'application des sciences à l'industrie, est en général surtout mis en lumière; et cependant si, se plaçant, par exemple, au point de vue de la France, on peut dire que la diffusion des sciences dans leurs applications à l'industrie est une base fondamentale de notre prospérité, on doit affirmer, comme également essentielle, tout au moins, l'étude des beaux-arts; car les plus grands succès des produits de notre industrie sont évidemment dus à la diffusion du goût, au talent de nos artistes, si bien secondés par le goût exercé de nos fabricants et de nos ouvriers.

L'Exposition universelle de Londres a démontré ce que celle de Paris confirme, à savoir ce cachet tout particulier de goût attaché à nos produits, qui donne souvent aux moins importants une véritable valeur artistique. Qui ne sait que Paris crée la mode, c'est-à-dire invente et juge souverainement en fait d'articles de goût? Si l'on remontait à l'origine de la création de bien des objets élégants de cette industrie française si estimée dans le monde entier, l'on verrait que leur valeur artistique est souvent due à l'imagination d'un pauvre ouvrier travaillant dans sa mansarde, qui a eu le goût assez pur pour modifier heureusement le modèle qui lui était donné.

L'étude des beaux-arts, qui est, dans ses manifestations les plus élevées, le grand moyen de vulgariser le bon goût, de faire naître des artistes éminents, capables de former des écoles, de donner une heureuse impulsion, est donc d'une extrême importance pour la France, afin ne pas la voir déchoir de sa position et s'amoindrir en présence des efforts intelligents de nations rivales, qui ne négligent rien pour améliorer le goût de leurs producteurs, par le développement de l'enseignement du dessin et l'exposition publique des chefs-d'œuvre des arts.

L'Angleterre, avec son éminent bon sens, a vu clairement à l'Exposition de Londres tout ce qu'elle avait à faire dans cette voie, et a fondé aussitôt les musées de Sydenham, de Marlborough-House, ainsi qu'un très-grand nombre d'écoles de dessin. Elle a par-

faitement compris que c'était là une condition vitale de succès pour sa puissante industrie, si admirable au point de vue technique, mais qui était dépassée par des nations rivales au point de vue du goût. Elle a senti que l'avenir de son immense commerce d'exportation dépendait des progrès artistiques de ses producteurs.

C'est, en effet, cette précieuse qualité du goût qui distingue surtout les produits similaires des nations parvenues à un haut degré d'avancement industriel, et c'est sans contredit l'élément qui s'assimile le plus difficilement. Copier une machine inventée dans un pays voisin est chose facile dans l'état actuel de la mécanique; donner du goût aux ouvriers qui manient les diverses pièces d'un bijou pour qu'ils les assemblent avec un sentiment net du résultat à obtenir, c'est à peine si l'étude et la culture permettront d'y arriver après plusieurs générations.

La multiplicité des produits de l'art dus à l'initiative individuelle de toute une population d'ouvriers artistes en rend l'imitation insuffisante; elle constitue une supériorité presque inattaquable chez une nation qui, la possédant, ne s'abandonne pas elle-même. C'est ce qui explique la permanence de supériorité sur d'intelligents rivaux de quelques-unes de nos industries, telles que la fabrique de soieries de Lyon, celle des articles de Paris dans la capitale, etc.

La première chose que nous avons à faire, avant d'entrer dans l'étude que nous nous proposons, c'est de délimiter nettement l'étendue du champ que nous avons à parcourir. On peut classer les travaux de l'art industriel au point de vue des emplois des objets auxquels il s'applique, c'est-à-dire des vêtements, des ustensiles d'économie domestique, de l'ameublement, de la décoration des maisons, etc. Mais comme c'est au point de vue de l'application des beaux-arts que nous devons ici considérer les travaux de l'industrie, notre but étant d'analyser les conditions de leur beauté et nullement de traiter de leur utilité ou des procédés techniques, ce qui nous conduit à chercher les règles à suivre dans les travaux d'art pur, dans les œuvres inspirées seulement par la recherche du beau, nous établirons les meilleures divisions en séparant ce qui se rapporte au dessin, à la forme, à la construction; nous nous rapprocherons ainsi des divisions des beaux-arts, ce qui nous permettra de tracer le tableau ci-après, qui renferme l'indication des principales industries artistiques, et de leurs relations avec les beaux-arts.

Dans ce tableau nous allons du composé au simple, par la nécessité, que nous ferons apprécier plus loin, d'établir d'abord les types les plus complets de l'art aux diverses époques, à l'aide de l'architecture, c'est-à-dire des produits complexes qui le résument le plus complètement.

1. ARTS EMPLOYANT LES PROPORTIONS HARMONIEUSES DES FORMES GÉOMÉTRIQUES.

ARCHITECTURE. . .	I. Architecture proprement dite. *Grandes constructions.*	
	II. Céramique.	*Petites constructions annexes de l'Architecture.*
	III. Meubles.	

2. ARTS EMPLOYANT EN OUTRE L'IMITATION DES FORMES NATURELLES.

SCULPTURE. . . .	IV. Statuaire.—Bronzes.—Orfévrerie.—Bijouterie.
PEINTURE. . . .	V. *Par application de couleurs.* Dessin.—Polychromie.—Impressions sur papier et sur étoffes.
	VI. *Par juxta-position d'éléments colorés.*—Mosaïques.—Tissus divers.

Ce tableau ne renferme que les divisions principales; nous verrons bientôt comment, ayant son principe dans les beaux-arts, il embrasse par ses subdivisions toutes les applications multipliées des beaux-arts à l'industrie.

Essayons d'entrer dans quelques détails sur ces questions d'art, travail qui n'a pas encore été tenté, et qui, s'il est réalisé ici d'une manière trop insuffisante, fera sans doute naître le désir de faire mieux. Comme nous le verrons bientôt, il est difficile de s'avancer bien loin en conservant la forme dogmatique qu'il semble naturel d'employer, et c'est moins par des dissertations que par la reproduction à l'aide de la gravure de quelques pièces bien choisies, tant dans celles des siècles passés qui sont justement célèbres que parmi celles qui ont le plus vivement frappé le public aux dernières expositions, qu'il est possible d'indiquer la voie dans laquelle les efforts des jeunes débutants doivent se porter pour venir dignement succéder à leurs prédécesseurs. Mais quoi qu'il en soit, nous pouvons considérer comme bien établi dès à présent que c'est dans les travaux d'art pur propres à développer le sentiment du beau et faits sans tenir compte des applications possibles, travaux dont nous n'avons pas à traiter ici, que se trouve l'origine de tous les grands succès, l'impulsion capitale, comme ce sont les travaux de science pure qui fournissent les bases des grands progrès dans les procédés techniques.

Précisons d'abord quels sont, au point de vue des beaux-arts, les éléments principaux des productions de l'industrie; éléments dont l'énumération va nous permettre de donner la raison de la division de l'art industriel en deux séries, que nous avons admise plus haut.

ÉLÉMENTS DE L'ART INDUSTRIEL.

I.—FORMES GÉOMÉTRIQUES.

Les éléments de l'art industriel au point de vue des formes qu'on doit distinguer lorsqu'on cherche à établir (pour faciliter l'étude) des divisions entre des éléments qui sont le plus souvent réunis, sont d'abord les formes que nous appellerons géométriques, c'est-à-dire celles dont la géométrie se propose l'étude. Nous distinguerons :

1° Les formes rectilignes de l'architecture, qui par suite de la nécessité de remplir les conditions de stabilité donne toujours aux monuments, dans le sens vertical, des formes rectilignes, et emploie nombre d'accessoires de la forme de cubes, de prismes, etc.;

2° Les formes cylindriques, coniques, etc., qui rencontrent plusieurs applications dans l'architecture, et constituent essentiellement les produits de la Céramique obtenus de tout temps à l'aide du tour du potier; enfin la combinaison des formes rectilignes et de celles obtenues par le tour dans le travail du bois pour la fabrication des Meubles:

3° La forme sphérique obtenue pour ainsi dire naturellement dans la fabrication des ustensiles en verre, et qui plus ou moins altérée constitue toutes les formes qu'ils conservent.

On voit ici comment les proportions harmonieuses de formes purement géométriques suffisent pour rendre compte du charme des constructions qui n'emploient pas, ou plutôt n'emploient que comme accessoires les imitations dont nous allons parler : c'est le cas de l'Architecture, de la Céramique, de la construction des Meubles.

En dehors de ces formes, dont l'œil saisit facilement la régularité, et qui plaisent lorsqu'elles sont employées convenablement, sont toutes les formes irrégulières que le goût peut engendrer, toutes les variations à l'infini de surfaces courbes. En général, sauf les voûtes, le plus souvent de forme sphérique ou cylindrique, quelquefois ogivales, on ne peut guère citer ici que l'emploi dans la décoration, en outre de petits éléments multipliés tels que les rosaces, les oves, etc., des entrelacements de surfaces peu saillantes, analogues aux combinaisons des lignes connues sous le nom d'arabesques, dont nous aurons à parler plus loin en traitant des lignes et contours. Ces surfaces ne peuvent guère exister sans que le plus souvent leur multiplication ou leur groupement rappelle presque forcément quelque objet pris dans la nature dont elles semblent bientôt la caricature si elles n'en sont pas l'imitation. Nous arrivons ainsi à la seconde partie à considérer.

II.—IMITATION DES FORMES NATURELLES.

L'imitation des formes les plus gracieuses que nous présente la nature, des proportions divines des plus belles créations, fournit à la décoration ses éléments les plus nombreux; méthode bien fertile, puisqu'elle puise dans la nature, variée à l'infini, une multitude d'éléments dont l'harmonie est d'ordre divin, et dont l'emploi charme les yeux à coup sûr. C'est dans la Sculpture proprement dite, l'art d'imitation par excellence, que les ressources qui dérivent de l'imitation des formes naturelles sont pleinement utilisées. Dans les applications industrielles qui s'y rattachent, les ressources qui résultent des moyens d'exécution ne permettent pas le plus souvent d'arriver à une imitation complète, rarement elles suffisent pour faire autre chose que de rappeler des motifs gracieux. Bien souvent même l'imitation n'est que partielle; l'ornement dérive d'une imitation, mais n'emprunte à la nature que l'harmonie générale : telles sont les palmes, les oves de l'architecture. On peut poser en principe que, dans le plus grand nombre de cas, l'art industriel doit limiter tout au plus à l'imitation de la nature, à son élégante reproduction, la sphère qui lui est propre, et abandonner aux beaux-arts proprement dits (qui se manifestent cependant assez souvent sous le manteau de l'industrie) l'emploi de l'imitation pour révéler un idéal, faire comprendre les sentiments et les pensées des personnages.

C'est dans l'étude des plantes, des fleurs, des animaux, des jeunes enfants, du corps humain, que se rencontrent les éléments que le goût créateur de l'artiste combine à l'infini; ce sont ces éléments, dont l'imitation plaît toujours à nos yeux, qui satisfont le sens moral et éveillent en nous les idées de grâce. Les divers styles dont nous aurons

bientôt à parler tendent à faire varier leur groupement, le mode de les interpréter, et à faire apprécier, à certaines époques, les uns plutôt que les autres, mais dans la plupart des cas ils doivent être considérés comme étant toujours la base fondamentale de presque toutes les formes gracieuses, de la plupart des harmonies que multiplient certaines parties de l'art industriel.

Ainsi nous distinguerons, parmi les objets qui fournissent les principaux sujets d'imitation :

1° Les plantes, feuilles, boutons, fleurs, entrelacements divers, guirlandes, bouquets, etc.;

2° Les animaux de tout genre, oiseaux, chiens, chevaux, reptiles, etc.;

3° La figure humaine, enfants, femmes, hommes.

III. — DESSIN ET COLORATION.

L'ornementation des surfaces, tant par des dessins produits par des tracés de lignes qu'à l'aide de la coloration, atteint sa plus haute expression dans la peinture, qui reproduit tous les corps, et à l'aide de l'imitation vient peindre aux yeux les sentiments et la vie elle-même.

Les ressources qu'elle fournit à l'art industriel forment une importante partie de celui-ci; mais c'est surtout dans ce cas que s'applique complétement l'observation faite plus haut. L'industrie et les arts viennent se confondre en quelques occasions quand il s'agit de formes, mais jamais l'emploi fait par le travail industriel des lignes et des couleurs n'atteindra l'art qui traduit le mieux les sentiments à l'aide de l'imitation. Aussi n'avons-nous pas à traiter ici de l'art de la peinture; nous rappellerons toutefois que c'est cet art, que ce sont les travaux de nos artistes les plus éminents qui fournissent les principes de dessin et de coloration qui doivent guider nos fabricants, et que, d'un autre côté, les modèles que l'industrie se propose d'imiter, dus aux artistes industriels, méritent souvent d'occuper une place honorable parmi les produits d'art.

Les moyens d'ornementation industrielle qui rentrent dans notre cadre s'offrent à nous sous deux aspects différents, analogues à ceux que nous avons rencontrés déjà en traitant de la forme :

1° La première division se rapporte au point de vue du dessin, à l'emploi de lignes géométriques ou autres, dont l'enlacement ne rappelle aucun objet déterminé, bien que provenant souvent d'objets naturels dont on n'a gardé que les harmonies linéaires, qui ont par leurs formes une grâce propre. Au point de vue de la coloration, cette division comprend la polychromie, c'est-à-dire l'emploi d'un nombre limité de couleurs appliquées en teintes plates et offrant à la vue des tons de couleurs dont l'aspect, la proportion la réjouit. Nous ferons rentrer dans cette division la coloration des frises des temples par les anciens, au moyen âge la décoration des voûtes des cathédrales;

2° La seconde division se rapporte à des imitations de la nature, à l'emploi de lignes imitant, rappelant des objets gracieux, et relativement aux couleurs à l'emploi

de teintes diverses dégradées, afin de reproduire l'aspect des objets colorés, sans que les conditions techniques permettent le plus souvent de les montrer tels qu'ils sont dans la nature et que la peinture les reproduit, c'est-à-dire éclairés par une lumière qui fait sentir leurs reliefs, portant des ombres qui indiquent leurs positions relatives. Dans la décoration industrielle on n'emploie en général que des couleurs fondues au moyen de juxta-positions ou de superpositions de teintes plates offrant des effets qui ne rappellent qu'imparfaitement ceux que produit l'art de la peinture, en se proposant d'ailleurs, comme nous avons eu le soin de le faire observer, un but bien moins élevé. On parvient, par les procédés de décoration, à imiter, à rappeler des objets gracieux, jamais à éveiller des sentiments comme dans la peinture proprement dite. Ce n'est que dans le cas du dessin monochrome (à une seule couleur) que l'impression reproduit à l'infini, grâce aux procédés de la gravure, et que la création artistique se transforme en un produit industriel quelquefois aussi précieux que l'œuvre du peintre.



DU BEAU.

Malgré notre désir de rester essentiellement pratiques dans ce travail, de ne pas entrer dans le domaine de l'art pur, nous devons cependant dire en commençant quelques mots de son but, du beau, dont nous allons suivre les manifestations dans l'industrie. Qu'est-ce que le beau? C'est là une de ces questions auxquelles il n'est pas possible de faire une réponse satisfaisante; le beau étant une idée première, essentielle de l'intelligence humaine, n'est pas susceptible de définition mathématique. Pour faire apprécier le beau, que chacun sent si l'on ne peut le définir, pour développer un sentiment dont le germe existe en nous, il n'est guère possible, comme toutes les fois qu'il s'agit d'idées fondamentales, que de répéter sous des formes équivalentes au fond l'énoncé de sentiments propres à notre nature. Ce qui est possible toutefois, c'est de faire sentir en analysant ses éléments, ce que nous appelons le beau; de déterminer les conditions principales auxquelles satisfont les productions acclamées par tous comme types évidents de la perfection.

La première observation que l'on doive faire relativement au beau sensible, c'est qu'il consiste dans une harmonie qui ne réside nullement dans la matière dont se composent les éléments à l'aide desquels il se matérialise en quelque sorte. Voilà bien des siècles que Socrate établissait avec sa méthode si pleine de bon sens cette vérité. Il démontrait aux différents artistes, à l'armurier Pistias comme au peintre Parrhasius, comme au philosophe Aristippe, que la beauté d'une femme accomplie, la beauté d'une coupe, la beauté d'un casque, étaient une même chose, et que les formes de ces différents objets étaient assujetties aux mêmes lois générales.

Le beau, suivant Platon, est « la splendeur du vrai; » belle formule, qui s'applique admirablement au beau intellectuel et moral plutôt qu'à celui révélé par des formes matérielles, ou au moins ne s'y applique que si l'on se place à un point de vue très-

2

élevé, si l'on sent que le beau dans l'art est la perfection idéale, divine, des formes. Raphaël disait : « Le peintre est dans l'obligation de faire les choses, non comme les fait la nature, mais comme elle devrait les faire. » C'est en cela qu'il faisait consister le beau, et il a appuyé ce grand précepte d'admirables exemples. C'est la même notion de la traduction de l'idéal à l'aide de réalités matérielles qui a été parfaitement sentie dans les beaux travaux sur l'Esthétique des philosophes allemands, et répond à leurs définitions de l'art : l'accord de l'idéal et du réel, du fini et de l'infini.

La matière devient belle pour nous, dit excellemment Channing, quand elle semble perdre son apparence matérielle, son inertie, ses limites et sa grossièreté; quand, par la légèreté éthérée de ses formes et de ses mouvements, elle semble se « spiritualiser. » D'où il tire d'admirables conséquences morales sur l'importance de la culture de l'individu pour le rendre capable de voir et sentir le beau, qui sont d'une profonde vérité.

Pour rester dans des considérations plus voisines des applications, demandons-nous quelles sont ces lois dont parlait Socrate, et quelles sont les conditions principales auxquelles satisfont les types du beau.

Dans chaque ordre de production on peut énoncer des règles spéciales, mais il est une règle principale qui domine toutes les autres et qui s'applique aux produits de l'esprit aussi bien qu'à ceux des arts, condition qui a été définie « l'unité dans la variété, l'unité de l'ensemble et la convenance des parties. » Nous empruntons à saint Augustin un passage, célèbre à bien juste titre, où il formule admirablement ce grand principe.

« Si je demande à un architecte, dit ce saint docteur, pourquoi, ayant construit une arcade à l'une des ailes de son édifice, il en fait autant à l'autre, il me répondra sans doute que c'est afin que les membres de son architecture symétrisent bien ensemble. Mais pourquoi cette symétrie vous paraît-elle nécessaire? Par la raison que cela plaît. Mais qui êtes-vous, pour vous ériger en arbitre de ce qui doit plaire ou ne doit pas plaire aux hommes? et d'où savez-vous que la symétrie nous plaît? J'en suis sûr, parce que les choses ainsi disposées ont de la décence, de la justesse, de la grâce; en un mot, parce que cela est beau. Fort bien. Mais, dites-moi, cela est-il beau parce qu'il plaît, ou cela plaît-il parce qu'il est beau? Sans difficulté, cela plaît parce qu'il est beau. Je le crois comme vous. Mais je vous demande encore : pourquoi cela est-il beau? et si ma question vous embarrasse, parce qu'en effet les maîtres de votre art ne vont guère jusque-là, vous conviendrez du moins sans peine que la similitude, l'égalité, la convenance des parties de votre bâtiment réduit tout à une espèce d'unité qui contente la raison? C'est ce que je voulais dire. Oui; mais prenez-y garde. Il n'y a point de vraie unité dans les corps, puisqu'ils sont tous composés d'un nombre innombrable de parties, dont chacune est encore composée d'une infinité d'autres. Où est-ce donc que vous la voyez, cette unité qui vous dirige dans la construction de votre dessin, cette unité que vous regardez dans votre art comme une loi inviolable, cette unité que votre édifice doit imiter pour être beau, mais que rien sur la terre ne peut imiter parfaitement, puisque rien sur la terre ne peut être parfaitement un? Or, de là, que s'ensuit-il? Ne faut-il pas reconnaître qu'il y a donc au-dessus de nos esprits une certaine unité originale, souveraine, éternelle, parfaite, qui est la règle essentielle du beau que vous cherchez dans la pratique de votre art? »

Cette loi d'unité est fondamentale; mais si elle domine toutes les autres, elle est loin d'être la seule, ou plutôt, comme nous le verrons bientôt, ces lois ne sauraient être toutes et complétement formulées. Mais au moins peut-on encore en indiquer quelques-unes des plus importantes, en faire entrevoir l'existence.

Nous avons dit que le beau est une harmonie, un rhythme (c'est la définition d'Aristote, l'ordre et l'harmonie des parties), prenant ainsi notre définition ou plutôt cherchant à nous faire comprendre par un exemple pris dans la musique, celui des beaux-arts où les observations sont le plus faciles à faire.

Quels sont les éléments de la musique? des notes formées par des vibrations dont les nombres sont entre eux dans un rapport mathématique simple et tellement déterminé, que tout son intermédiaire, toute fausse note produit sur une oreille exercée une impression désagréable. Ce résultat certain fait bien comprendre, ce qui paraît bien moins évident « à priori, » comment les rapports de hauteur et de largeur d'une colonne, les espacements des colonnes, etc., peuvent se trouver rigoureusement déterminés, et comment l'œil qui transmet l'harmonie, comme l'oreille dans le cas précédent, doit se trouver choqué si l'on s'écarte de la loi mathématique que l'on trouve appliquée par les artistes les plus éminents de l'antiquité.

Suivons notre comparaison :

On sait que dans la musique l'oreille est favorablement impressionnée par certaines successions de notes, dites accords, tandis que d'autres forment des dissonances désagréables à l'oreille. De même, certains groupements d'objets plairont à l'œil, tandis que d'autres lui seront désagréables. Dans quelques cas de l'architecture et de la céramique notamment, la loi de répétition et de symétrie répond surtout à cette condition. Comme une tierce est agréable à l'oreille, une division par trois de certains éléments, dans une construction par exemple, peut être préférable à toute autre et devenir une règle avantageuse à observer.

Enfin, dans la musique comme dans les autres arts, les éléments ne constituent pas le beau, bien qu'ils soient nécessaires pour le produire; le groupement dû au goût de l'artiste en est le principe essentiel. La musique fait encore bien comprendre par la variété de ses compositions, tantôt graves, tantôt légères, combien le beau prend de formes différentes, comment on peut produire un nombre infini de combinaisons distinctes avec un nombre limité d'éléments, et combien est erroné le système des gens, peu nombreux aujourd'hui, qui croient que la simple reproduction des belles œuvres est la seule voie ouverte au génie des modernes, que le beau a été incarné dans des types dont il est impossible de s'écarter; sans comprendre que l'imitation absolue est impossible à des générations qui n'ont plus foi dans les idées auxquelles l'art a fourni jadis une forme extérieure. Idée absurde et qui, bien qu'elle tende de jour en jour à perdre de son crédit, sera difficilement déracinée de certains esprits médiocres qui tendront toujours à copier, n'étant pas capables de produire par leurs propres forces.

Entrons dans les détails qui permettront d'apprécier les œuvres d'art, pour le plus grand profit de tous, et surtout de l'artiste lui-même, dont la plus grande récompense est de voir son travail compris; malheureusement, comme le fait observer Diderot, combien de compositions où il est contraint d'employer plus de rapports que le plus grand nombre n'en peut saisir!

C'est le bon emploi de ces rapports dont parle Diderot, de ces éléments multiples qui produit la beauté d'une œuvre. Ce sont eux qui permettent de traduire, d'une manière compréhensible pour tous, la pensée créatrice de l'artiste rendue à l'aide de formes qui lui donnent une expression matérielle.

C'est parce que la notion de beau se réduit à celle de rapports qu'elle est saisissable pour tous les esprits. En effet, l'exercice immédiat de nos facultés nous donne des idées d'ordre, d'arrangement, d'harmonie, qui se rencontrent dans ce qui est beau. Sans doute ces idees acquièrent une plus grande netteté quand on fixe sur elles son attention, quand on considère les cas les plus saillants de leurs applications, comme nous venons de tenter de le faire avec des comparaisons tirées d'un cas dans lequel les appréciations sont le plus faciles. Mais si ces idées n'acquièrent toute leur précision que dans les esprits cultivés, elles ne peuvent être absolument étrangères à aucun; elles se confondent en effet avec les notions de nombre, de grandeur, et autres. qui s'éveillent les premières dans l'intelligence humaine.

CONDITIONS FONDAMENTALES DU BEAU.

Les conditions du beau dans les œuvres de l'industrie forment l'objet de tout ce travail; nous allons bientôt dire comment c'est par l'étude des œuvres les plus célèbres, que nous pourrons faire sentir quelques-unes des règles que suit l'imagination de l'artiste. Auparavant, essayons de compléter, autant qu'on peut le faire les lois fondamentales que nous avons déjà tenté plus haut d'établir. Mais malheureusement il nous faudra bientôt reconnaître qu'il est difficile d'aller bien loin dans cette voie.

DE LA CONVENANCE.

La première condition à laquelle doit satisfaire un produit est celle de la convenance: un bâtiment inhabitable, un vase qui ne saurait contenir de liquide, révoltent le bon sens du spectateur et le laissent froid devant les décorations les plus multipliées. Nul besoin d'insister à cet égard, quand il s'agit de produits industriels dont le caractère d'utilité doit dominer. souvent d'une manière absolue, tous les autres caractères.

Négligée quelquefois par les architectes du commencement de ce siècle, préoccupés avant tout de l'imitation des monuments grecs, la convenance était devenue, par réaction, le caractère fondamental, essentiel, qu'un célèbre professeur (M. Durand) assignait à l'architecture. Les élèves de ses cours de l'école Polytechnique, officiers du génie ou d'artillerie, ont élevé des magasins, des halles d'une belle simplicité, qui, dans bien des villes, écrasent, par leur bel aspect, de mauvaises églises ou mairies de villages, affublées de colonnes mal à propos employées. Cependant si la convenance détermine les grandes lignes d'un ensemble, on doit avouer que, dans le

cas général, il est des parties facultatives; ce sont celles-là qui peuvent être déterminées en vue de la décoration, mais sans jamais empiéter sur la convenance.

UNITÉ. — SYMÉTRIE.

Nous pouvons considérer comme établie, par le beau passage de saint Augustin que nous avons rapporté, la nécessité de l'unité, c'est-à-dire du concours de toutes les parties pour produire un effet déterminé et ne pas en cacher l'ensemble derrière des fractions de l'œuvre qui détournent l'attention. La symétrie est la disposition capitale qui permet d'éviter cet inconvénient.

DES PROPORTIONS.

La condition fondamentale, qui comprend en quelque sorte toutes les autres, consiste à donner aux diverses parties, tant lignes que formes, des proportions constituant l'harmonie; proportions que découvre quelquefois le sentiment de l'artiste, que l'on recueille souvent par des observations faites sur la nature animée.

Nous suivons M. Ziégler « Études céramiques, » pour l'indication de cette loi fondamentale, à laquelle il donne le nom « d'Eurythmie. »

« Vitruve nous a transmis cette expression (qu'il définit comme synonyme de proportions), par laquelle les Grecs désignaient une des conditions du beau en architecture.

« L'Eurythmie ne s'applique qu'à la partie pittoresque de l'édifice, qu'aux reliefs de tout genre susceptibles d'accord, de répétition. Ainsi, d'un certain point de vue général et lointain, la colonnade représente un vaste ornement; c'est une série cadencée, rhythmique, qui s'accorde avec d'autres séries.

« Si j'examine l'ordre dorique grec, qui est le beau simple par excellence, je vois que le rhythme contribue puissamment à la beauté.

« Au-dessus des notes graves, sonores, gigantesques de la colonnade, je suis frappé des divisions rhythmiques de l'entablement, où les triglyphes se succèdent comme les mesures d'une mélodie. J'admire la belle ordonnance des métopes consécutives, la régularité de leurs mouvements périodiques, la proportion des intervalles, la justesse des temps, le parfait accord des parties concertantes, je dis concertantes, car l'Eurythmie a pour objet « de lier en un concert général les membres et les ornements variés de l'édifice.... »

« De tels effets ne sont pas dus au caprice de l'imagination, ils procèdent d'une science, d'une loi, qui est l'Eurythmie. Ils expliquent pourquoi la musique entrait dans l'éducation d'un architecte athénien, possesseur des secrètes formules de Pythagore. »

La détermination de ces proportions harmonieuses dans la colonne grecque, dans le groupement de cet élément, constitue l'ordre dont nous parlerons bientôt.

A cette loi, ou plutôt à cette indication, M. Ziégler en joint une autre qui ne manque pas d'intérêt, mais qu'on ne peut considérer comme d'une importance comparable a la précédente, dans laquelle elle rentre en partie. C'est la loi de répétition.

DE LA RÉPÉTITION.

« La répétition est considérée justement comme un principe d'ornementation. Un objet indifférent, comme un petit cube, étant répété et formant une série, produit un effet agréable dans une moulure ; tels sont les denticules. Une cannelure, une feuille, une perle étant répétées, deviennent pour l'architecte des ornements qui tirent toute leur valeur de la répétition. »

DE L'ALTERNANCE.

La répétition est alterne lorsque les parties répétées varient en volume et en étendue, aussi bien que par la forme et le dessin.

La loi de symétrie dont nous avons parlé peut être considérée comme rentrant dans la répétition presque toujours nécessairement symétrique des éléments, qui seule satisfait à l'unité. C'est ainsi que la répétition de deux ailes semblables aux deux extrémités d'un édifice, en attirant également l'œil de l'observateur, le force à embrasser l'ensemble de la construction.

Bien que s'appliquant plus spécialement à l'architecture par leurs indications, ces lois sont vraies pour toute espèce de décoration industrielle, pour les tracés, les lignes de tout genre, aussi bien que pour les formes, et sont les plus importantes parmi les nombreuses lois que l'artiste doit respecter. Le savant auteur que nous citons en a voulu indiquer également quelques principes fondamentaux relatifs à l'emploi des couleurs ; nous allons encore le suivre sur ce terrain.

LOIS DE LA COLORATION.

Nous continuerons donc d'emprunter à M. Ziégler quelques lois auxquelles doit satisfaire l'emploi des couleurs, qui tirent une grande valeur de la célébrité justement méritée à l'auteur par son éminent talent de peintre.

LOIS DE PROPORTION.

Nous avons dit que « les belles proportions, quant aux formes architecturales et céramiques, résultent d'un ensemble où toutes les parties, étant symétriques, doivent en quantités diverses dépendre d'une masse à laquelle elles se rattachent et qui les domine par son volume et son importance. » Il n'y a rien à modifier à ce principe dans son application à la coloration. Les proportions relatives entre les différentes étendues colorées seront d'autant plus nécessaires à observer, que le ton sera plus pur et plus voisin du maximum d'éclat de la couleur. Citant un exemple, il fait observer que la vigueur des tons, des couleurs y est en raison inverse de l'étendue qu'elles occupent.

Examinons, dit-il, « les productions si variées de l'industrie des étoffes et des papiers peints : nous voyons d'abord un fond dominant ; puis, sans considérer aucunement le mérite du dessin, ni la perfection de l'exécution, nous pouvons remarquer qu'il existe des proportions relatives entre les couleurs qui ornent les fonds ; qu'elles sont réparties en quantités subordonnées, que l'aspect de ces œuvres plaît d'autant plus que les règles précitées ont été mieux observées. »

LOI D'ASSIMILATION.

La loi d'assimilation est une loi qui permet, indépendamment du dessin et des proportions, de produire un effet harmonieux avec diverses couleurs.

« Un vase, je suppose, doit recevoir des ornements bleus : que le fond en soit d'un gris fin et bleuâtre, que les rouges soient mêlés de bleu comme dans la fleur du glaïeul, que les blancs eux-mêmes, quoique vifs, soient faiblement azurés ; la teinte dominante assimilatrice qui est le bleu, pénétrant le fond et les tons superposés, il en résultera la variété, l'unité, l'harmonie. »

LOI DE JUXTA-POSITION.

« L'harmonie peut encore résulter de l'ordre dans lequel les couleurs sont juxta-posées. Il existe donc un ordre naturel, une loi suivant laquelle un certain nombre de pièces colorées, de teintes plates même à leur maximum d'éclat, peuvent produire un accord harmonieux sans recours ni à la hiérarchie des proportions, ni à l'influence d'une couleur assimilatrice, par le seul ordre dans lequel les couleurs seront juxta-posées.

« Cet ordre se révèle dans l'arc-en-ciel, les spectres lumineux qui charment la vue par la disposition des couleurs mixtes, car dans ces deux exemples le jaune est mêlé au vert, le rouge à l'orangé, et le bleu au violet. »

Nous traiterons plus loin, en parlant des applications de la peinture, des effets de contraste et d'éclat des couleurs dont M. Chevreul a formulé les lois dans un travail justement célèbre.

ÉTUDE HISTORIQUE DU BEAU.

DES STYLES.

D'après la marche que nous venons de suivre, si toutes les lois du beau pouvaient être formulées, nous n'aurions plus qu'à étudier ces lois mathématiques, ces formules, ces proportions reconnues bonnes dans chaque branche particulière de l'art ; en un mot, il serait possible de constituer une science positive de l'art dont les limites

seraient faciles à déterminer d'une manière absolue. Mais il n'en est nullement ainsi, comme on peut le prévoir d'après le petit nombre de lois générales que nous sommes parvenus à indiquer, et qui ne peuvent d'ailleurs, comme on le sent facilement, avoir aucune influence sur le développement des facultés artistiques, de l'esprit inventif, ce qui doit être l'objet principal de l'étude que nous entreprenons ici.

Puisque les œuvres dans lesquelles nous réalisons ce que nous appelons le beau sont des créations de notre esprit, elles ont une relation directe avec la civilisation, les idées qui agitent l'esprit humain à chaque époque; on a donc dû apprécier en chaque siècle des harmonies diverses, mais toutes remarquables. En un mot, il y a une succession historique qui doit être étudiée, qui nous révèle une foule d'harmonies découvertes avant nous; moyen puissant de développer le goût par des comparaisons et des études convenables, qui permet d'arriver à la production d'harmonies nouvelles, quand on a compris et senti d'abord celles si nombreuses et si variées qui ont été découvertes dans la succession des travaux des hommes de génie de toutes les époques et de tous les pays.

La production du beau étant due surtout à l'initiative, au sentiment de l'art de chaque grand artiste, écho de son époque sans cesser d'être lui-même, n'est pas nécessairement progressive, et l'on ne peut, comme dans les sciences exactes, oublier les travaux des prédécesseurs pour ne conserver que les théorèmes découverts par eux. En un mot, il s'agit de connaissances de l'ordre des sciences morales, et l'étude historique, en attirant notre attention sur des œuvres que nous apprécions avec ce que nous appelons le sentiment du beau, doit donner des résultats aussi nets que ceux que, dans d'autres voies, la philosophie, l'histoire par exemple, nous étudions à l'aide du sentiment du vrai, du juste.

Insistons un peu sur ce point de vue d'une grande importance et qui donne la vraie raison d'être d'un travail de la nature de celui-ci.

On sait que l'école historique, si justement célèbre en Allemagne, qui a rendu illustres les noms de Savigny, de Niebuhr, etc., et révolutionné les études juridiques, a prouvé surabondamment que l'étude abstraite du droit, en employant une méthode de déduction semblable à celle de la géométrie, ne mène qu'à des résultats de peu de valeur; que chaque cerveau, prenant une vue incomplète du juste pour le juste absolu, arrive bientôt, par des déductions parfaitement logiques, à l'absurde le moins contestable.

Au contraire (et les travaux de l'école historique l'ont également démontré), l'étude historique des institutions, en permettant de comparer, d'étudier les effets des lois les plus diverses chez tous les peuples et dans tous les temps, en forçant de tenir compte de tous les éléments qu'il est impossible de comprendre entièrement dans une analyse, en étudiant des réalités au lieu de suivre des conceptions abstraites, permet d'entrevoir une image bien plus complète, bien plus nette, de ce juste absolu, divin, que l'intelligence humaine ne saurait jamais parfaitement définir.

C'est de la même manière que les monuments, les œuvres remarquables des diverses époques, forment la véritable école du beau, et que leur étude attentive peut seule permettre d'entrevoir, de développer le sentiment de ce beau divin, qui ne peut se formuler en quelques phrases, résulter de quelques déductions plus ou moins logiques. C'est l'étude intelligente des chefs-d'œuvre, l'analyse raisonnée de chacun

qui devient le but de notre travail, et nous venons de prouver que c'est la seule méthode qui puisse le rendre utile.

Le résultat principal de l'étude historique du beau, c'est de nous faire concevoir nettement ce qu'on appelle les styles, c'est-à-dire les éléments, les proportions employées à chaque période de civilisation, les harmonies qui avaient un rapport intime avec les idées régnantes à chaque époque, et dont les variations, peu sensibles quand on ne regarde que les transformations successives qui s'opèrent lentement, deviennent très-saillantes dans des œuvres produites à des époques très-éloignées. C'est ce qui va devenir clair par les développements qui vont suivre et surtout par la vue des dessins des chefs-d'œuvre justement célèbres. C'est ainsi, pour nous borner à deux exemples bien tranchés, qu'on retrouvera facilement dans le Parthénon et la colonne corinthienne quelques relations avec la grâce, l'élégance de la philosophie et du paganisme grec ; et dans la cathédrale gothique, l'aspiration vers le ciel, le grandiose du catholicisme du moyen âge.

Pour suivre un semblable développement historique, pour rappeler en quelques mots (nous ne pouvons donner ici un bien long exposé) les grandes époques de l'histoire où la civilisation jetant un grand éclat a dû laisser des œuvres considérables, c'est toujours de la Grèce qu'il faut partir ; c'est là que nous trouvons les origines de nos arts, de nos sciences. C'est en Grèce que les applications industrielles des beaux-arts ont pris naissance en même temps que ceux-ci. L'imagination des Grecs avait ennobli jusqu'aux ustensiles les moins précieux. Athènes fut la première ville manufacturière, la maîtresse et la reine du goût dans les temps anciens. Il suffit de penser un instant au degré si élevé qu'atteignirent la poésie, l'éloquence, la philosophie aux beaux jours de la Grèce, pour apprécier, quand les chefs-d'œuvre ne seraient pas sous nos yeux, qu'il a dû se produire, à une époque de civilisation si brillante, un admirable développement de l'art. Les produits en durent varier à l'infini dans une société libre, où l'action des citoyens pouvait prendre tout son essor. Ce sont les travaux de tout un peuple d'artistes qui ont engendré les chefs-d'œuvre si variés de l'art grec. Aussi la petite ville d'Athènes joua-t-elle un rôle que son importance semblait lui refuser, et cela parce qu'étant dans les temps anciens la reine du goût, elle devint par cela même la première ville manufacturière de l'ancien monde.

Il faut observer, toutefois, que, puisque c'est en Égypte que les Grecs avaient puisé la plupart des éléments de leurs arts, l'étude de l'art égyptien doit précéder celle de l'art grec.

Les Égyptiens nous ont laissé des monuments dont les proportions colossales manifestent clairement une étonnante civilisation, et qui, grâce à leur solidité, nous ont révélé une foule de renseignements sur l'état des arts à cette époque si reculée. A l'opposé de l'art grec, où l'imitation de la nature tint une si grande place, le caractère dominant du style égyptien lui fut imprimé par une théocratie toute-puissante qui rendit immobile cet art grandiose, en assujettissant tout à des règles fixes, immuables.

Après la splendeur de la Grèce vint celle des Romains, qui ne cultivèrent les beaux-arts que lorsqu'ils eurent conquis la Grèce ; mais, nation guerrière, ils furent trans-

formés par l'art grec, qui poursuivit son œuvre en initiant ses vainqueurs au goût des arts. Enrichie des dépouilles du monde entier, Rome penchait déjà vers sa ruine, qu'Athènes, Argos, Thèbes, Corinthe, pillées, saccagées, mais toujours peuplées d'artistes, acquéraient. par leurs manufactures, une nouvelle célébrité. Il est juste de dire que si les Romains ont emprunté aux Grecs les pcincipes de l'art et souvent les artistes eux-mêmes, cependant leurs œuvres ont quelquefois un grandiose que n'avaient pas les productions grecques, et qui semble refléter quelque chose de l'immensité de l'empire romain.

Rome, souveraine du monde, vit concentrer entre les mains de sa puissante acistocratie les richesses du monde entier. Les manifestations les plus éclatantes de l'esprit et de l'art, l'éloquence, la poésie, vinrent s'y donuec rendez-vous, comme les beaux-arts cultivés plus souvent par l'esclave grec que pac le citoyen romain, et, après avoic jeté un éclat qui fera toujours de cette époque une des plus célèbces dans les fastes de l'humanité, déchurent sous les empereurs pac les excès d'une civilisation raffinée, s'épuisant elle-même.

Le déplacement de la capitale de l'empire, la fondation de Byzance, est le signal de la décadence des arts; le goût s'altère en même temps que le luxe des décorations brillantes, propres à l'Orient, se propage. Constantin ceint le diadème, prend la robe éclatante des souverains de l'Asie; c'est l'élément oriental, asiatique, qui triomphe de l'élément comain.

Sous cette influence combinée avec celle du christianisme, cause de la plus grande révolution morale que la tecre ait jamais vue, se développe le style byzantin à l'Orient; et à l'Occident où se révèle l'élément gecmanique, le style roman, dans lequel se fait sentir le génie propre aux nations catholiques de l'Occident; ce fut par les produits de ce style que les nations qui avaient envahi et détruit l'empire romain commencèrent à faire sentir, sous la tutèle de l'église, leur tendance à sortir de la barbarie.

Après avoic accompli de grandes œuvres, ces nations abandonnent complétement les tcaditions de l'antiquité; les grandes cathédrales gothiques sortent de terre et les arts tendent à renaître pour décorer ces gigantesques constructions. On a classé ces productions dans un style qu'on a appelé ogival, du nom de l'ogive, élément spécial à son architecture. A cette époque, où la féodalité était subordonnée à la papauté, pendant la durée de cette puissante théocratie, il devait s'accomplir de grandes œuvres dans cette Europe animée d'une même foi religieuse symbolisée dans de gigantesqnes constructions, chez ces grandes nations occidentales qui s'éveillaient à une vie nationale ou au moins communale.

Lorsqu'au xve siècle les nations chrétiennes, et surtout les républiques d'Italie, arrivant à un degré éminent de richesse, cherchèrent à faire refleurir les arts, elles retrouvèrent la tradition de l'antiquité. Lorsque les Croisés s'étaient pcécipités sur l'Orient et avaient détruit les restes de l'empice grec, ils avaient rapporté dans leur pays le goût des arts qui s'y étaient maintenus. C'était encore à la Grèce que les féroces barons normands, qui avaient fondé le royaume de Sicile, prirent l'industrie de la soie qui s'y était conservée, en enlevant les ouvriers et installant de force cette colonie en Sicile. Enfin. les Vénitiens, devenus ensuite maîtres d'une partie de l'Acchipel, tcansplantècent dans leur patrie ce qui existait encore de la fabrique des

Grecs. C'est avec ces éléments, arrachés à la Grèce, que l'Italie avait préparé cette grande époque de la renaissance qui remit tous les arts en honneur.

Les méthodes des artistes grecs se répandirent dans toute l'Italie ; ce fut le point de départ de ces écoles illustres qui se formèrent successivement. Vers le milieu du xvᵉ siècle, en 1453, un événement important, la prise de Constantinople par Mahomet II, donna une nouvelle impulsion aux arts renaissants, en forçant les derniers artistes byzantins à s'expatrier. Grâce à tous ces éléments, grâce à l'enrichissement de la société moderne, le progrès se fit sentir en Italie d'abord, où Venise, Florence surtout, la véritable Athènes des temps modernes, Gênes, etc., étaient arrivées à un degré inconnu jusque-là de richesse et de liberté si indispensable pour donner à l'artiste la foi en son œuvre, puis bientôt dans le reste de l'Europe. La noble protection, le goût éclairé des Médicis, des Sforce, des d'Est, des Maximilien, des Charles-Quint, véritables souverains de leur siècle, si dignes de comprendre les merveilles de l'art, firent bientôt surgir les Masaccio, les Buonarotti, les Raphaël, les Vinci, les Titien, les Benvenuto Cellini.

On sait comment, grâce aux encouragements de François Iᵉʳ, les arts passèrent de l'Italie en France avec Léonard de Vinci, le Primatice, Benvenuto Cellini, etc., et y retrouvant les éléments importants d'une école nationale, s'y élevèrent à une si grande hauteur ; combien fut brillante cette époque pour tous les arts.

Après le xvᵉ siècle, il nous faut arriver jusqu'à Louis XIV pour trouver un mouvement comparable, une ère de splendeur dans toute l'Europe, et surtout chez la nation française, qui se sentit appelée à accomplir des œuvres considérables. Les créations de ce règne, héritier de toutes les grandes conceptions de Richelieu, où les hommes éminents semblaient se multiplier, ont un cachet de grandeur qui les fait reconnaître et ont donné un type à l'art. On sait toutes les grandes choses qui furent alors créées en France, et comment la profusion des œuvres d'art, la recherche de l'élégance, le raffinement dans la décoration arriva enfin, au siècle de Louis XV, à créer un style, maniéré quelquefois, mais empreint de richesse et d'originalité, qui s'est appliqué heureusement à une foule de produits industriels.

Depuis cette époque, l'Empire, en France, livré à une imitation médiocrement entendue de l'art grec, adopté par une société qui, au sortir d'une longue révolution, ne savait plus où retrouver de traditions, n'a rien laissé de notable dans le champ de l'art ; la Restauration elle-même, pendant laquelle le gothique a été surtout glorifié par l'école dite romantique, n'engendra guère de productions originales que dans le champ de la fantaisie, dans des œuvres secondaires.

Nous arrivons ainsi à l'époque actuelle, à ces vingt-cinq dernières années. Des éléments nouveaux, les progrès de la liberté moderne, la division de la propriété, la multiplication du nombre des propriétaires, la diffusion des lumières, en un mot des besoins nouveaux et des idées nouvelles, doivent amener des types inconnus jusqu'ici et couronner dignement le riche développement industriel qui caractérise notre siècle, correspondre à la puissance inouïe et nouvelle de nos moyens d'action sur la matière, fournir satisfaction aux besoins d'élégance de millions de familles qui jadis bornaient leurs efforts à subvenir à leur existence. L'indication de ces types est un résultat précieux, que cette étude nous permettra d'obtenir dans nombre de cas.

Dans cette énumération rapide des époques pendant lesquelles l'art a jeté le plus vif éclat, nous n'avons suivi que les évolutions de la civilisation gréco-romaine dont nous procédons directement. Certes, c'est dans les œuvres produites par cette civilisation que se rencontrent les principaux types des harmonies qui plaisent le plus à notre goût; mais ce ne sont pas les seules. Les autres civilisations, dans leur plus grand éclat, ont créé aussi des modèles que l'art industriel s'est empressé d'adopter.

Ainsi nous citerons l'Inde, qui précède peut-être comme antiquité cette Égypte dont la tradition remonte au-delà des plus anciens temps bibliques, et qui a fourni tant de ressources à l'industrie de la Grèce; la civilisation de la race arabe et turque, qui, un moment, a menacé d'envahir l'Europe et s'est étendue sur une grande partie du monde, pour y constituer de puissants empires. Les éléments orientaux qu'elle s'est assimilés, avaient déjà pris une place importante dans l'art de l'empire byzantin; elle les a développés tandis que l'Europe s'est refusée à les continuer. Enfin nous aurons à parler de la Chine, pays si étendu, couvert d'une population compacte, possédant bien longtemps avant nous de puissants éléments de civilisation, l'imprimerie notamment, et qui a cultivé d'une manière bien remarquable certains arts industriels.

Nous aurons donc à étudier, pour chacune des divisions établies plus haut :

L'art égyptien,
L'art grec,
L'art romain,
L'art byzantin, roman,
L'art gothique ogival,
L'art de la renaissance,
L'art sous Louis XIV,
L'art sous Louis XV,
L'art moderne;

Et les manifestations des civilisations orientales et asiatiques, savoir :

L'art indou,
L'art arabe, mauresque,
L'art chinois.

Chaque époque de civilisation s'incarne en certains types; c'est ce que nous fera bien sentir l'étude des produits les plus complets de chacune d'elles : nous voulons parler des grands monuments, des créations de l'architecture. Nous y trouverons la traduction des aspirations de chaque siècle, l'indication des éléments adoptés par l'art industriel à chaque époque dans ses diverses manifestations, les caractères particuliers qui constituent ce que nous appelons les styles. C'est ce que nous ferons apprécier dans le chapitre suivant, consacré à l'architecture, à la première des divisions établies plus haut dans l'art industriel; toutefois, dans quelques cas, l'intelligence des styles s'obtiendra plus facilement par la vue d'œuvres moins importantes, où le caractère de

l'art à une époque est exagéré. Remarquons que, dans tous les temps, presque toujours les artistes croient faire de l'art pur, se livrer à l'imitation de la nature, et non obéir à des conventions qui nous paraissent le cachet particulier de chaque style; c'est en général l'avis des contemporains. Ce n'est que plus tard que le style se révèle: c'est lorsque les artistes se sont mis à suivre des idées différentes de celles qui guidaient leurs prédécesseurs, que le système auquel obéissaient ceux-ci, sans en avoir conscience, devient sensible.

En nous bornant à l'étude sommaire des styles, nous ne prétendons pas qu'elle seule suffise à l'étude historique du beau, et que d'autres recherches soient inutiles. Mais pour rendre cette étude complète, indépendamment du récit des événements et des idées régnantes en chaque siècle et en chaque contrée, il faudrait définir les principes des diverses écoles, c'est-à-dire des groupes d'artistes qui ont préféré certaines formes à d'autres, telles ou telles combinaisons, aussi bien que l'œuvre individuelle des artistes éminents qui, inspirés par leur époque, ont eu une grande influence personnelle sur les œuvres, le goût de leur siècle, et dont la succession constitue le développement de l'art. En effet, c'est l'artiste éminent qui découvre le beau et le fait admirer; il ne dit pas ce que tout le monde sait, mais ce que tout le monde est susceptible de comprendre à l'époque où il vit; ce que chacun croyait savoir déjà une fois qu'il l'a dit. Or cette œuvre complète, encyclopédique, nous paraît immense et à peu près irréalisable: son extrême étendue ferait d'ailleurs perdre de vue l'ensemble et les rapports des diverses parties; aussi l'esquisse seule nous paraît abordable, et c'est à elle que nous bornons nos efforts, supposant connu du lecteur ce que nous serons obligés d'emprunter à l'histoire de chaque époque et de chaque artiste éminent.

Nous terminerons le plus souvent par la revue un peu détaillée des œuvres de l'époque moderne les études sur les diverses classes de produits industriels dont nous avons à parler, par la raison que les Expositions universelles de Londres et de Paris, en mettant à notre disposition une quantité suffisante de matériaux, nous fourniront le moyen de donner une extrême utilité pratique à cet ouvrage, et nous permettront d'indiquer la voie véritable de l'avenir, celle dans laquelle les efforts doivent être dirigés. Nous décrirons auparavant les œuvres de civilisation étrangères à la nôtre, qu'il importe d'autant plus de connaître avant d'étudier les productions modernes, que celles-ci y puisent bien souvent des modèles. C'est en effet l'imitation de tous les styles qui forme le point de départ de la puissante production industrielle de notre époque, et il est nécessaire de reconnaître les imitations heureuses pour les louer, celles évidemment malheureuses pour les blâmer.

L'étude détaillée des produits de l'industrie des diverses nations nous permettra aussi de donner une juste place à un point de vue trop négligé dans ce travail pour les époques antérieures à la nôtre. Comme nous ne pouvons représenter chaque style, dans chaque genre de productions, que par une ou deux pièces, insuffisantes le plus souvent pour indiquer les modifications de ce style pendant le long espace de temps pendant lequel il s'est transformé, au moins partiellement, nous n'avons pu tenir toujours suffisamment compte du cachet de chaque nation dans son interprétation de chaque style. Or, si cela peut être excusé dans une esquisse sommaire, on

ne saurait l'admettre quand on considère les produits si nombreux des grandes industries de puissantes nations, comme celles qui rivalisent avec nous, dont le développement industriel et artistique est si considérable. Sous ce rapport, l'Allemagne, où les arts ont pris un si beau développement, mérite surtout une grande place, et l'école allemande, le style allemand doit être étudié avec le plus grand soin. Nous n'avons pas besoin de parler de l'Angleterre, de si longtemps en avance sur nous, que la gloire de la France est d'atteindre et de dépasser quelquefois, et qui, dans nombre de produits, a su élever à la hauteur de l'art cette convenance élégante pour laquelle elle a inventé le mot de « comfortable »; enfin les produits de l'Italie, de l'Espagne, de l'Inde, etc., nous offriront dans certaines industries des indications très-précieuses, qui nous permettront d'établir bien nettement l'intéressant tableau de l'état actuel de l'art industriel chez les nations qui excellent dans l'exécution d'un produit quelconque, qui sont supérieures en un point aux autres nations.



SECTION I.

ARCHITECTURE

UTILITÉ DE SON ÉTUDE.

Nous avons dit que l'étude de l'Architecture est particulièrement convenable pour faire apprécier, pour bien définir l'esprit des conceptions de chaque époque, le style qui se révèle clairement à la vue des productions du plus grandiose de tous les arts, de celui qui, en raison de l'importance de ses créations, du grand nombre d'éléments qu'elles nécessitent, réagit le plus sur tous les autres et les transforme sous l'influence de l'inspiration régnante. On le comprend facilement, si l'on réfléchit que le système d'Architecture d'une époque, qui donne la physionomie des édifices destinés à répondre aux aspirations des nations, se modifie avec les progrès de la science, les ressources qu'elle offre aux constructeurs, les coutumes régnantes, avec le goût enfin, le sentiment du beau de chaque génération. S'adressant en quelque sorte à toutes les facultés de l'homme, à tous les désirs de la société, le monument est une espèce d'encyclopédie, l'harmonieux résumé de toute une synthèse.

Pour montrer combien les divisions fondamentales par styles se sentent dans l'Architecture, il nous suffira de citer deux éléments essentiels, bien caractérisés, de styles différents, la colonne grecque et l'ogive du moyen âge. Certes, personne ne pourra voir ces deux éléments accolés, sans sentir le sentiment instinctif du beau blessé par une semblable réunion. Or, c'est l'intelligence nette des styles difficiles à définir et qu'on est réduit souvent à faire apprécier par le dessin plus que par des analyses, qui peut être le résultat le plus certain de l'étude des monuments de l'art ; et ce n'est pas un minime résultat que de les faire apprécier dans une application importante, même pour les personnes qui, par la nature de leurs travaux, la trouveraient un peu éloignée des cas spéciaux de décoration industrielle qui les intéressent plus particulièrement. C'est donc en traitant de l'Architecture que nous essayerons de faire sentir, d'indiquer les principes généraux des divers styles de manière à

n'avoir pas à y revenir longuement dans les diverses autres applications de l'art industriel.

Les lois de la pesanteur et de la stabilité rendent indispensable en Architecture l'emploi de lignes verticales; l'ordonnance des divisions intérieures, comme le travail à l'aide de la règle, exige généralement des surfaces planes, réglées (sur lesquelles s'appliquent des lignes droites), et qui se coupent à angles droits. Des conditions toutes spéciales de la construction résulte le caractère spécial et le plus saillant de l'art architectural, qui, nous l'avons dit, n'est nullement un art d'imitation de formes naturelles, mais un art dont le caractère dominant est géométrique et qui tire son charme de l'harmonie de proportions des éléments qui lui sont propres. Sous ce rapport, elle ne donnerait peut-être pas une idée des styles aussi complète que nous l'avons annoncé si nous ne comprenions ici, sous la même division, la sculpture décorative, annexe si importante de l'Architecture, dans son imitation particulière et le plus souvent incomplète de modèles pris dans la nature vivante.

Si nous avions à traiter ici spécialement de l'Architecture, et non pas plus particulièrement de l'aspect des édifices, nous aurions à tenir compte, dans chaque cas, des éléments qui entrent dans les constructions, de la nature des matériaux qui se trouvaient à la portée des divers peuples et qui ont une relation directe avec les formes qu'il leur fut possible de donner à leurs temples : le granit en Égypte, les marbres en Grèce, etc. Il y aurait aussi à étudier les progrès de la science, des procédés de construction, tels que l'invention de l'arcade, des ciments chez les Romains, l'emploi du fer dans les temps modernes; progrès qui se traduisent par un rapport croissant du vide au plein dans les édifices. Mais tout ceci se rapporte à l'art des constructions et non à l'aspect artistique que nous devons seul considérer ici, n'ayant nulle prétention de faire un traité d'Architecture, ni de traiter des questions de convenance dans les divers cas qui doivent tout primer dans cet art industriel.

D'ailleurs, il ne faut pas confondre les aspirations de l'art avec les moyens matériels qui en ont rendu la traduction complète plus ou moins possible. Ces aspirations ont leur cause dans les idées, les désirs de chaque époque, de chaque civilisation, qui agitent l'humanité et inspirent les artistes et qui peuvent avoir eu le plus de véritable grandeur aux époques où l'exécution était le moins facile. Ce serait, en effet, une grave erreur d'appliquer aux œuvres d'art les idées modernes sur les progrès de l'humanité, c'est seulement dans la puissance de traduire, de matérialiser les idées par des moyens de travail, à l'aide des richesses accumulées, et surtout grâce aux progrès essentiellement continus des sciences mathématiques et physiques, que les nations modernes ont une supériorité incontestable sur celles qui les ont précédées.

Passons à l'étude des divers styles, nous y trouverons l'application des divers principes, nous reconnaîtrons l'utilité des divisions que nous avons établies ci-dessus pour l'étude des monuments les plus célèbres, remplissant les conditions de convenance, possédant des harmonies spéciales de proportions que nous avons indiquées comme conditions fondamentales du beau.

Nous ne pouvons nous flatter d'indiquer dans chaque cas les rapports d'où résultent les harmonies des diverses parties des édifices; c'est dans les ouvrages spéciaux

d'Architecture qu'ils peuvent se trouver définis, et encore est-il bien rare que l'analyse en soit complète. C'est surtout par la vue des édifices, c'est en montrant les éléments eux-mêmes qu'on procède le plus souvent; et c'est ce que nous ferons dans le plus grand nombre de cas possibles.

A plus forte raison, comme nous l'avons déjà dit, nous éviterons de développer, dans des digressions historiques, les considérations relatives à chaque monument; nous ne donnerons pas dans ce travail l'histoire de la nation et de l'époque qui les a vu s'élever, de l'artiste qui leur a consacré son talent. Nous n'avons pas cru devoir nous livrer à cette étude curieuse et importante sans doute, mais qui, par ses grands développements, eût rendu difficiles les comparaisons qui doivent faire l'utilité de ce travail.

STYLE ÉGYPTIEN.

Les colossales constructions de l'Égypte ont précédé celles de la Grèce et ont eu sur l'architecture grecque une influence incontestable. Elles ont de plus une relation plus ou moins directe avec celles de l'antique Orient qui remontent aux premiers âges de l'humanité. Nous devons donc les examiner en premier lieu, d'autant plus que la solidité incroyable de ces constructions édifiées à l'aide de blocs de granit, souvent d'un volume énorme, leur a permis de résister à l'œuvre des siècles, suffisamment au moins pour nous permettre d'apprécier les conditions auxquelles se conformaient les architectes.

« L'art égyptien, dit M. Raoul-Rochette, essentiellement symbolique dans le fond comme dans la forme des images qu'il employa, ne fut jamais figuratif qu'autant qu'il eut besoin de représenter des corps pour exprimer des idées. » Dans l'architecture, comme dans la statuaire, des formules consacrées, des principes conventionnels, faisant partie de la religion même, empêchaient l'essor des architectes des époques les moins reculées, auxquels toute espèce d'innovation était interdite, et qui devaient se borner à l'imitation des chefs-d'œuvre les plus remarquables de leurs prédécesseurs. Chose bien inouïe, dans cette civilisation si ancienne, ce sont les œuvres de l'antiquité la plus reculée qui sont les plus colossales, qui exigeaient pour l'exécution le plus de savoir chez les architectes, des moyens plus puissants d'exécution chez les constructeurs.

Le caractère dominant de l'architecture égyptienne, le moyen qu'elle emploie pour satisfaire le sentiment de l'éternelle immobilité, du gigantesque (que l'on sent si bien dans les pyramides), qu'inspirent naturellement les grandes lignes du désert de l'Égypte, consiste dans le placement horizontal de grosses pièces de granit, d'immenses monolithes, sur des supports verticaux. De là résultèrent la plate-bande et bientôt la colonne, tantôt très-voisine de la colonne dorique grecque, tantôt même, dans plusieurs monuments de l'ancienne Égypte, décorée par des sculptures qui ne manquent pas d'élégance.

Nous donnons ici deux de ces colonnes qui sont fort remarquables par l'ornementation des chapiteaux et même par leurs proportions, bien qu'un peu lourdes



Chapiteau égyptien



Chapiteau égyptien

peut-être par comparaison avec les colonnes grecques. La colonne étant par essence l'unité du rhythme, c'est en partant de son diamètre comme unité servant à évaluer les autres parties d'un édifice, qu'habituellement on cherche à calculer les proportions, à reconnaître l'harmonie mathématiquement. On peut trouver dans les planches du grand ouvrage de l'expédition d'Égypte les dessins complets des principaux temples, à l'aide desquels pourraient s'obtenir les éléments de semblables rapports. Nous allons voir bientôt, en traitant du style grec, comment ces éléments sont liés entre eux dans les constructions grecques; ce qui explique l'importance attachée à la colonne dans les études d'architecture[1].

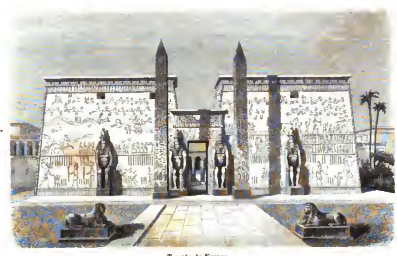
Pour donner idée de l'aspect extérieur des temples (les colonnes ne figurant en général que dans les intérieurs), nous donnons la vue du temple de Karnac[2], une

[1] En architecture, dit M. Donaldson, on doit entendre par ordre, non pas tant la colonne et l'entablement qu'elle porte qu'un principe reconnu de décoration, un arrangement systématique, une certaine proportion caractéristique qui embrasse non-seulement la colonne et l'entablement, mais aussi tous les autres accessoires d'un édifice et tous les moindres détails de chaque partie.

L'architecte anglais se place à un point de vue qui nous semble être le véritable; c'est par suite de la grande part donnée à l'art grec dans l'enseignement de l'architecture, que la colonne qui y tient une grande place est devenue le type de l'ordre, s'est même à tort confondue avec lui.

[2] Les monuments les plus remarquables qui subsistent encore en partie, dans l'ancienne Egypte, sont : les Pyramides.—le Sphinx gigantesque;—le Temple de Karnac;—le Rhamsesséum, tombeau de la dynastie de Rhamsès; — Ipsamboul, en Nubie, taillé dans le granit; — Medinet-Habou: — le Temple de Philæ, etc.

des merveilles de l'Égypte, qui, avec les divers exemples du produit de l'art industriel



Temple de Karnac.

que nous rencontrerons plus loin, pourra donner une idée assez nette du style caractéristique de l'art dans cette antique et curieuse civilisation.

STYLE GREC.

Les Grecs furent les premiers architectes de l'antiquité. Bien que ne disposant que des ressources des Égyptiens, c'est-à-dire ne sachant construire qu'avec des pierres horizontales placées sur des supports verticaux (en employant toutefois de plus, dans les intérieurs, des pièces de bois qui par leur longueur leur ont permis d'obtenir des résultats tout différents), cependant, après avoir élevé dans leur pays des chefs-d'œuvre qui sont restés des types immortels du beau, qui ont conservé la même supériorité que les chefs-d'œuvre de leur sculpture et de leur poésie, ce furent eux qui inspirèrent l'architecture romaine et construisirent la majeure partie des monuments de Rome.

Ce qui fit la supériorité de l'art grec, ce fut un sentiment admirable des proportions les plus heureuses des divers éléments de l'architecture, la juste appréciation de l'harmonie des grandes lignes de constructions, qui formaient une base d'une grande élégance pour supporter les sculptures, les bas-reliefs qui venaient les décorer. Pureté des lignes, élégance d'éléments de dimensions assez restreintes, en rapport avec la grandeur des végétaux de la Grèce, les lentisques et les orangers, décoration d'un

goût et d'une exécution admirable, tels sont les principaux caractères de cette belle architecture.

Nous donnons ici le chef-d'œuvre de l'art grec, le Parthénon[1], ce temple de



Parthenon.

Minerve, construit sous Périclès, dont les débris mutilés excitent encore l'enthousiasme des voyageurs. C'est le plus beau type qui puisse être offert de l'architecture qui nous rappelle la plus brillante civilisation, ce siècle de Périclès, de Socrate, de Phidias, d'Alcibiade, etc., qui, dans l'art, l'éloquence, la philosophie, a pu être égalé, mais jamais surpassé.

Les colonnes de ce temple appartiennent à l'ordre dorique, qui a un caractère spécial de noblesse et de sévérité. Ces colonnes sont dépourvues de base, leur fût est orné de cannelures larges et peu profondes, le chapiteau est composé d'une grande moulure en forme de coupe, reposant sur deux ou trois petits filets, et surmontée d'un tailloir en forme de table carrée. Les triglyphes, ornements cannelés simulant

[1] Les monuments les plus précieux des beaux temps de la Grèce dont il nous soit parvenu des débris suffisants, sont : le Parthénon, dont Ictinus et Callicrates furent les architectes ; — les Propylées ; — le Monument choragique ; — le Temple d'Égine.

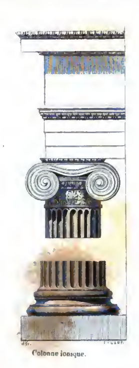
Le Temple de Pæstum dans la grande Grèce, dont les ruines sont si belles, est tout à fait d'architecture grecque.

des extrémités de solives, que l'on voit dans la frise de l'entablement, appartiennent exclusivement à cet ordre. Nous donnons ici le détail de la colonne et de l'entablement de l'ordre dorique, sur une échelle assez grande, pour en faire bien apprécier les détails.

L'importance des proportions de la colonne, des dimensions de ses diverses parties calculées en fractions de son diamètre, calcul à l'aide duquel on a cherché à surprendre la science des architectes grecs, en déterminant par le même procédé toutes les parties



Colonne dorique.



Colonne ionique.

avoisinantes, et par suite de proche en proche, presque toutes les proportions des édifices, a fait donner le nom d'ordre aux colonnes. Nous donnons ci-dessous un exemple de ce mode de détermination. Mais nous pensons qu'il vaut mieux s'en tenir à la définition de l'ordre que nous avons donnée plus haut; c'est la seule applicable à tous les cas. Quoi qu'il en soit, il importe de parler ici des deux autres genres de colonnes des temples grecs, des deux autres ordres qui ont été si souvent imités.

L'un est l'ordre ionique, différant du dorique par ses proportions plus légères, par des détails plus fins, par l'emploi des bases, par la forme de son chapiteau, qui est beaucoup plus allongé et orné à ses angles de grandes volutes; dans la frise de cet ordre commencent à paraître les sujets continus qu'on ne rencontre que comme une exception dans l'ordre précédent

Enfin le corinthien, dû, dit-on, à Callimaque [1], forme le troisième ordre. La colonne s'allonge davantage, le chapiteau est plus élevé que dans l'ordre ionique et s'épanouit en forme de corbeille ; la végétation la plus riche et la plus légère vient se mêler aux formes de ce dernier pour les décorer par des courbes gracieuses. Le tailloir du chapiteau cesse d'être carré pour prendre une forme curviligne, la frise est ordinairement ornée de feuillages enroulés et les ornements se multiplient.

Pour faire apprécier comment les Grecs savaient employer à propos cette colonne,



Colonne corinthienne.


Monument de Lysicrate.

nous reproduisons ici le monument choragique (du chef de chœurs) de Lysicrate que l'on voit encore à Athènes, et dont l'élégance et la légèreté sont vraiment admirables. Sa

[1] Une jeune fille de Corinthe, dit Vitruve, étant morte au moment où elle allait se marier, sa nourrice recueillit dans une corbeille plusieurs petits objets auxquels elle avait été attachée pendant sa vie. Pour les mettre à l'abri des injures du temps et les conserver, cette femme couvrit la corbeille d'une tuile et la posa ainsi sur le tombeau. Dans ce lieu se trouvait, par hasard, la racine d'une plante d'acanthe ; au printemps, elle poussa des feuilles et des tiges qui entourèrent la corbeille.

hauteur est de deux diamètres, prise sous la cymaise de la corniche : la hauteur de la base est de trois demi-diamètres.

Il nous resterait à donner les nombres qui fixent les rapports de la hauteur et du diamètre des colonnes des divers ordres. Bien que reproduits imperturbablement dans tous les traités d'architecture, les rapports donnés par Vignole entre le diamètre de la base et les diverses parties de la colonne sont contestés aujourd'hui, comme ayant été obtenus en arrondissant les chiffres. M. Ziégler pense avoir trouvé dans le diamètre moyen (moyenne entre le diamètre du haut et celui du bas de la colonne, toujours de forme plus ou moins conique) la véritable unité. Ainsi, sur une colonne dorique, il a trouvé, en divisant en douze parties ce diamètre moyen :

Diamètre supérieur, 10.—Diamètre moyen, 12.—Diamètre inférieur, 14.—Et pour les autres dimensions qui s'en déduisent : Hauteur du fronton, 28 douzièmes.—Entre-colonnes, 16 douzièmes.—Frise, 12 douzièmes.—Architrave, 8 douzièmes.—Larmier, 3 douzièmes.—Cymaise, 3 douzièmes.—Chapiteau, 6 douzièmes.

Nous ne parlerons pas ici des imitations si nombreuses du style grec qui ont été tentées dans les temps modernes et dans divers pays. Nous dirons seulement qu'en général, le plus grand défaut de ces imitations est d'avoir exagéré les proportions des monuments de telle sorte que les effets se sont trouvés tout différents, et que, par exemple, l'église de la Madeleine, à Paris, peut être à peu près semblable au Parthénon, mais tellement grossi qu'il est devenu méconnaissable.

Nous compléterons, à ce propos, nos observations sur la question de l'imitation des styles, qui n'est pas toujours à repousser comme on le pourrait conclure de ce que nous avons dit précédemment.

L'époque à laquelle chaque monument d'un style déterminé a été construit permet, en général, de déterminer facilement les idées qu'il était destiné à traduire, et, par suite, les circonstances ou les études de ce style peuvent trouver une application convenable. Il en est ainsi dans les cas où l'œuvre à réaliser est inspirée par des idées qui ont eu toute leur glorification à des époques antérieures à la nôtre ; c'est ainsi, pour prendre le premier exemple qui se présente à notre esprit, qu'en orfèvrerie il serait absurde de faire un reliquaire autrement qu'en style gothique, rappelant ceux qui, pendant tout le moyen-âge, pendant la plus grande splendeur du catholicisme, ont orné les cathédrales. Pour l'art grec, on pourrait de même trouver des exemples où il serait convenable pour un monument destiné à rappeler l'élégance, le goût des arts de la Grèce. Nous citerons comme excellente application la Glyptothèque de Munich, charmant monument grec destiné à contenir les chefs-d'œuvre de la statuaire, et où se trouve l'admirable bas-relief qui décorait le fronton du temple d'Égine.

La rencontre des coins de la tuile força leurs extrémités à se recourber, ce qui forma le commencement des volutes. Le sculpteur Callimaque, passant près de ce tombeau, vit le panier, et remarqua la grâce avec laquelle ces fleurs naissantes le couronnaient. Cette forme nouvelle lui plut ; il l'imita dans les colonnes qu'il fit par la suite à Corinthe, et il établit, d'après ce modèle, les proportions et les règles de l'ordre corinthien.

STYLE ROMAIN.

Rome reçut des Etrusques, qui étaient eux-mêmes, tout porte à le croire, une colonie grecque, les premiers principes de l'art; toutefois l'ordre toscan, mais surtout la voûte, paraissent les éléments d'un art arrivé, sans secours étranger, à un assez haut degré de perfection. La voûte, en permettant d'espacer les points d'appui et d'employer les plus petits matériaux, a constaté le plus grand perfectionnement scientifique qui ait été apporté à l'art des constructions; c'est dans l'Architecture romaine qu'elle fût employée la première fois pour de grands édifices.

Dès le temps de Sylla, les Romains commencèrent à imiter les Grecs, à se parer des



Maison Carree de Nimes

dépouilles de la Grèce; ce fut aux architectes grecs que Rome eut recours pour élever des monuments qui eurent par-dessus tout le cachet de cette origine. Toutefois, il faut

observer que les constructions tendirent à grandir ; les monuments perdirent un peu de la finesse et de l'élégance de ceux de la Grèce ; mais, comme dans la plupart des emprunts faits par le peuple conquérant, les édifices, en prenant de plus grandes proportions, eurent chez les Romains un caractère plus grandiose.

Comme monument se rapportant à l'art romain et vraiment éclairé d'un reflet de l'art grec, nous donnons ici le dessin de la Maison Carrée de Nîmes, un des édifices les plus élégants construits par les Romains dans les Gaules, et qui, par ses dimensions, rappelle tout à fait un temple de la Grèce. Les détails des ornements du chapiteau et de la frise sont bien peu différents du corinthien grec. Nous les représentons



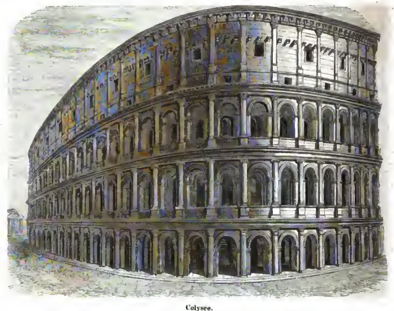
Colonne et chapiteau de la Maison Carrée.

dans la figure ci-jointe, qui montre ces différences et aussi la fermeté, la pureté de la sculpture décorative de ce charmant reste de l'antiquité.

Nous ne dirons rien de l'ordre composite attribué aux Romains, qui n'était qu'une modification du corinthien, ni du toscan, si lourd et si écrasé. Au point de vue de la décoration, l'art romain ne se sépare pas notablement de l'art grec.

Les moyens de construction des Romains ne furent pas limités à ceux que possédaient les Grecs : comme nous l'avons déjà dit, les Étrusques leur fournirent un nouvel élément, la voûte, qui leur permit d'exécuter des travaux admirables au point de vue de l'ingénieur, des ponts complétant ces admirables voies romaines qui étaient leur grand moyen de domination du monde entier, des aqueducs pour amener de l'eau dans les villes. Au point de vue de l'aspect des constructions, ce nouvel élément

fournit des effets très-heureux et qui se retrouvent dans la plupart des édifices postérieurs où l'on a utilisé ce progrès de la science. On trouve à Rome plusieurs monuments qui empruntent à cet élément un caractère tout particulier. Nous citerons le Colysée, immense amphithéâtre pouvant contenir cent mille spectateurs; les piliers



Colysée.

des arcades y sont accompagnées de colonnes des trois ordres grecs, employés en raison de la hauteur de chaque partie de l'édifice.

Les admirables débris qui subsistent encore de nos jours des grandes constructions des Romains[1] montrent les progrès qu'ils avaient fait dans la découverte de ciments d'une admirable solidité, et qui leur permettaient de réussir dans des travaux dont la grandeur excite une juste admiration. Le plus extraordinaire sans contredit, sous ce rapport, est le Panthéon d'Agrippa, recouvert d'une coupole qui, grâce à l'excellence de ces matériaux, ne forme qu'un seul bloc qui a résisté aux ravages du temps. Bien probablement cette coupole, dernier degré de la science de la construction des voûtes, a été le modèle originel des dômes qui, comme nous allons le voir, ont joué un grand

[1] Les monuments remarquables qui nous restent des Romains sont nombreux. Outre les exemples ci-dessus, nous citerons : la Closca Maxima, ou grand égoût formé de trois étages de voûtes et construit par Tarquin l'Ancien ; — le Panthéon d'Agrippa ; — la Colonne Trajane ; — le Colysée ; — le Tombeau d'Adrien, aujourd'hui château Saint-Ange ; — les arcs de Constantin, de Titus, de Sévère.

En France. — A Nîmes : Maison Carrée ; — Arènes. — Pont du Gard. — Les arcs de Triomphe d'Orange, Arles, Nîmes, etc.

rôle dans les belles constructions inspirées par le catholicisme, lorsque les architectes voulurent ne pas s'éloigner de la tradition classique.

L'arc de triomphe de Constantin, un des mieux conservés, nous montrera encore



Arc de Triomphe de Constantin

une des heureuses applications des constructions voûtées à des monuments d'une grande élégance.

STYLE BYZANTIN, ROMAN.

L'altération du style romain, lorsqu'il fallut construire les églises que réclamait le culte chrétien, conduisit à deux styles d'architecture assez voisins par l'effet de deux influences réagissant l'une sur l'autre, celle de l'empire d'Orient, celle des nations du Nord.

L'abandon presque absolu de l'architrave, l'emploi constant de l'arc reposant sur des colonnes souvent très-légères, du dôme placé au centre des édifices religieux, sont, avec la profusion de la dorure, de la mosaïque, des peintures sur fond d'or, les caractères distinctifs du style byzantin, d'où procède en grande partie le style arabe.

C'est au style byzantin que se rattachent les monuments qui donnent à Venise un cachet si extraordinaire de richesse et de grandeur.

L'élément asiatique qui s'est introduit dans les constructions de Byzance, dans Sainte-Sophie notamment, l'église type de ce style, édifiée sous Justinien, tendait déjà à se faire place aux premiers temps de l'empire romain. « Ce n'est pas d'aujourd'hui, disait Quintilien, qu'existe la distinction entre le style « asiatique » et le style « attique ; » celui-ci serré, pur et sain, celui-là enflé et vide ; l'un n'admettant rien de superflu, l'autre manquant surtout de goût et de mesure. »

A l'Occident, après le style latin adopté par l'Église latine, et qui ne consistait guère qu'en une application imparfaite de la tradition romaine, vers le xe siècle, sous l'influence de l'admiration des raffinements de l'empire d'Orient, les nations occidentales, qui ne possédaient rien de la tradition des proportions des ordres grecs, tendirent à manifester quelque peu leur individualité par l'Architecture. Ils y réussirent autant que le permit l'Église par la constitution du style roman, qui a toujours conservé l'arc en plein cintre et a produit plusieurs édifices remarquables, notamment par leur belle conservation, dus en grande partie à l'emploi de l'arc en plein-cintre, et grâce aussi à l'excès de solidité des murs et au diamètre généralement exagéré des colonnes.



Colonne romane

Chapiteaux romans.

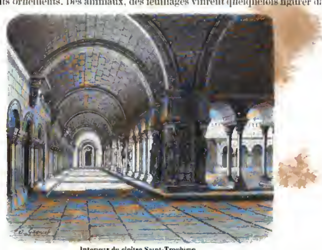
Ces colonnes, en général massives, reçurent des ornements variés, en zigzag, en forme de câbles, de torsades, de pointes de diamant, furent couvertes d'étoiles, et prirent

un caractère spécial par la variété des combinaisons géométriques, la répétition mul-



Façade de Saint-Trophime.

tiple des petits ornements. Des animaux, des feuillages vinrent quelquefois figurer dans



Intérieur du cloître Saint-Trophime.

les chapiteaux. Les figures de ceux que nous reproduisons à la page précédente donneront une idée de leur décoration

Comme type du genre roman, dans son alliance avec la tradition, c'est-à-dire à bien peu près byzantin, nous avons représenté une construction du midi de la France, où les traditions de l'art gréco-romain ont toujours subsisté : le cloître de Saint-Trophime, d'Arles, dont la première figure représente la porte, et la seconde la cour intérieure.

Comme s'éloignant bien davantage de la tradition gréco-romaine, nous donnerons la façade de Notre-Dame de Poitiers, célèbre à bien juste titre. C'est assurément



Notre-Dame de Poitiers.

le monument de notre pays qui convient le mieux à tous égards comme modèle, car il comprend tous les éléments de décoration des façades romanes du XIIe siècle : une porte en plein cintre reposant sur de fortes colonnes, une rosace centrale avec des meneaux figurant les rais d'une roue ; des arcatures formées par la rencontre de deux arcades non percées ; une façade décorée de petites arcades en plein cintre ornées de statues de saints.

Les travaux du style roman furent soumis aux autorités et aux traditions de l'Église, et, par suite, s'ils s'exécutèrent d'une manière d'abord très-remarquable pour l'époque, ils ne firent point de progrès ; les artistes ne purent donner aucun essor à leur génie. L'intervention de l'Église se fit jour, par l'action des couvents et de la franc-maçonnerie, qui, partant de la Lombardie et de Rome, devait naturellement construire des édifices qui se rattachaient à la tradition romaine, dont le style était le style romain altéré.

L'art chrétien, combiné avec les tendances des races germaniques, se fit cependant place dans ce style, surtout en cherchant à intéresser le sens moral bien plus qu'à flatter le sens physique. La grandeur, l'élévation qu'on donna aux églises pour diriger les idées vers le Ciel (tendance que l'état de la science des constructions ne permettait pas de contenter à l'époque des constructions romanes, et qui a engendré le gothique ogival dont nous parlons ci-après), la reproduction des légendes, des propagateurs de la foi, souvent de pieux solitaires exténués par le jeûne et les macérations, mais couronnés de saintes auréoles; tels sont les points de départ, les éléments traduits par les architectes à cette époque. Le symbolisme s'introduisit de toutes parts dans la décoration et y occupa une place considérable. Dans l'ornementation de ce style, il faut tenir grand compte de la peinture qui couvrait les voûtes, des mosaïques, des vitraux de couleur prescrits par Charlemagne pour les églises de son vaste empire.

D'après ce qui précède, on voit que, sous le nom de byzantin roman, nous comprenons plusieurs styles voisins qui ont inspiré les architectes pendant plusieurs siècles :

1° Le byzantin [1];

2° Le latin, très-voisin du style romain de la fin de l'Empire;

3° Le roman [2].

4° Le roman de transition, qui tend au style ogival.

STYLE GOTHIQUE OGIVAL.

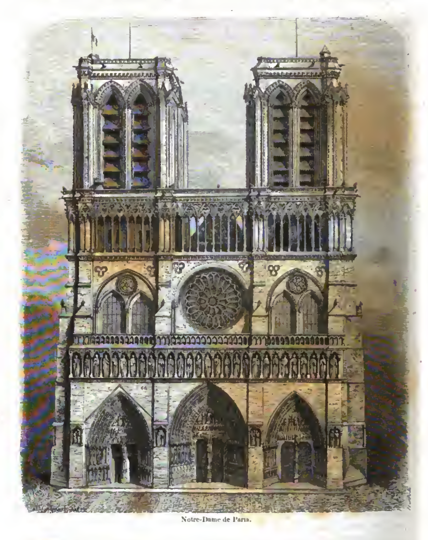
Le style ogival fut définitivement constitué sous saint Louis; dès lors toute tradition de l'antique fut oubliée, et un nouveau style d'architecture fut créé, qui se caractérisa par l'abandon du plein cintre et l'adoption de l'ogive comme élément essentiel; ogive qui, comme les flèches nombreuses dont on orna les parties supérieures des édifices, paraît provenir de l'Orient, du Sarrasin.

L'aspiration vers le grandiose, le désir de donner aux monuments une élévation extraordinaire, aux voûtes une hauteur qui excitât l'étonnement, l'admiration universelle (quelques personnes veulent retrouver dans ces voûtes élevées un sentiment inspiré par les grandes forêts du Nord), le soin de munir les clochers élevés de ces flèches élancées qui se perdent dans la nue; de faire contraster leur élévation avec la légèreté des découpures qui les décorent; tel est l'esprit dominant du gothique. Nos belles cathédrales sont comme des symboles complets de la religion, le résumé des croyances, de la foi vive, des aspirations mystiques de l'époque. On sacrifia tout au

[1] Nous citerons comme types du byzantin : Sainte-Sophie, construite à Constantinople sous Justinien ; Isidore et Anthemius, architectes. On y employa le dôme, pour la première fois, dans les grandes églises ;—Saint-Marc à Venise et sa place.

[2] Parmi les principaux monuments romans, nous citerons : Notre-Dame-du Puy ;—Saint-Germain-des-Prés ;—Saint-Zeno à Vérone ;—Notre-Dame de Poitiers ;—Saint-Loup à Bayeux ; —Saint-Front à Périgueux ; — Jumiéges, près Rouen ; — Notre-Dame-du-Port à Clermont ; — Saint-Menoux, près Moulins ;—le Dôme d'Aix-la-Chapelle ;—Saint-Géréon à Cologne , etc.

désir de produire l'étonnement, une impression religieuse en rapport avec les idées régnantes, même les conditions architecturales ; et on reproche avec raison, à ce point de vue, aux églises gothiques, les contreforts à jour nécessaires à leur solidité.

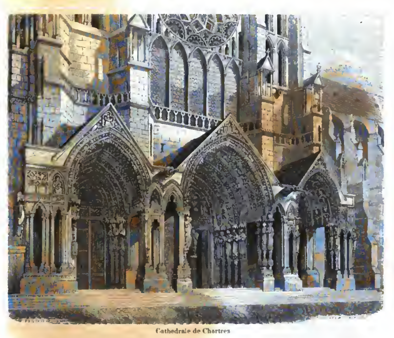


Notre-Dame de Paris.

Le style ogival prêtait beaucoup à la réalisation des plans les plus audacieux des architectes laïques se substituant partiellement aux moines, et à la traduction de l'influence des nations occidentales vivant d'une vie propre qui n'était plus la barbarie

de l'époque précédente, et qui n'attendaient plus de Rome l'inspiration en fait de goût. Aussi bientôt ce style devint national : il est français, anglais, teutonique; et surtout dans sa dernière période lorsqu'il s'achemine vers la renaissance, il cesse d'être exotique et sacerdotal, comme l'avait été celui de l'Égypte, de sortir des règles et du dogme, non du sol et des mœurs; d'être enfin assujetti aux canons de l'Église.

Les ornements naturels à nos pays, propres à symboliser l'exaltation religieuse, la théocratie du moyen âge, furent variés à l'infini par de véritables inventeurs qui ne copiaient pas, et dont l'œuvre est originale si elle n'est toujours d'un goût parfait. La peinture, la dorure étaient prodiguées à l'intérieur; les voûtes étaient couvertes d'azur parsemé d'étoiles d'or et d'argent. Les feuilles de la vigne vierge, du lierre, la rose, la



Cathédrale de Chartres

pomme de pin se rencontrent souvent dans la sculpture décorative; comme aussi la croix, l'auréole, le serpent, le trèfle représentant la Trinité; le trèfle à quatre feuilles figurant les quatre Évangélistes, aussi rappelés par l'ange, le lion, le bœuf, l'aigle; la vigne enfin, qui rappelle le vin de l'Eucharistie.

Un caractère de l'Architecture ogivale qu'il importe de noter, c'est que les voûtes à nervures des églises reposaient, comme des voûtes d'arête, sur des piliers très-élevés qu'il fallut soutenir par des contre-forts extérieurs. Ce système de construction se prêta fort heureusement à l'emploi d'un admirable élément de décoration qui fut

fourni à l'église gothique par la peinture sur verre : les fenêtres, auxquelles ce mode de construction permit de donner de très-grandes dimensions, et les roses de la façade furent garnies de vitraux de couleur qui tamisent la lumière et lui donnent un éclat admirable. Rien de semblable n'avait été obtenu dans les styles antérieurs, sauf dans le style roman, où ce genre de décoration ne pouvait avoir le même éclat par suite des dimensions bien moindres des fenêtres; on n'avait pas pensé plus tôt à combiner les effets vraiment magiques de mosaïques transparentes, que l'industrie n'était pas au reste en mesure de fabriquer avant cette époque.

Le soin pris de dissimuler les grandes dimensions des colonnes en leur donnant la forme de piliers fasciculés, est le dernier terme du désir du gothique d'élever les esprits vers le ciel par l'audace des lignes verticales non interrompues rejoignant des voûtes d'une grande élévation.

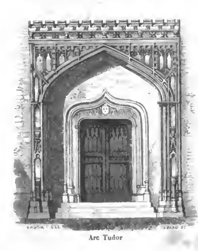

Travée de Saint-Ouen.

Nous donnons comme type du style ogival la façade de Notre-Dame de Paris, un des plus admirables monuments du moyen âge. Nous ne chercherons pas ici à en faire valoir toutes les harmonies; nous renverrons aux pages de Victor Hugo. Là, au milieu des exagérations du romancier, se révèlent les sentiments qu'éveillaient dans les âmes de nos pères ces édifices merveilleux sous tous les rapports. Ils y trouvaient leurs aspirations traduites, avant que la découverte de l'imprimerie permît de le faire plus facilement, tant par la majesté de l'ensemble que par la richesse des détails, la multiplicité des bas-reliefs où venaient se retracer toutes les légendes qui constituaient leur foi, mélange de naïveté et d'aspirations mystiques.

Comme modèle des décorations souvent placées en avant des portes, nous donnons ici l'élégant portail latéral de la cathédrale de Chartres, ajouté au monument après sa construction, et qui est un exemple curieux de l'emploi de la sculpture décorative. Enfin, comme type de la dernière période du Gothique, à l'époque où la Renaissance se faisait déjà pressentir, nous représentons une travée de Saint-Ouen de Rouen qui réalise la tendance à allonger les lignes verticales.

L'arc ogival, élément caractéristique de cette architecture, a eu plusieurs formes; l'une des plus employées fut l'ogive équilatérale, qui a ses centres placés à ses deux extrémités inférieures, de façon que les arcs forment un triangle équilatéral par leur intersection. Les Anglais, qui ont gardé le mieux la tradition du style gothique, tout à fait national chez eux, ont employé, depuis le

xv[e] siècle, l'arc Tudor, ou gothique surbaissé, dans lequel les arcs deviennent presque presqu'horizontaux, et dont le point d'intersection est à peine apparent; Il se rapproche



Arc Tudor

beaucoup de l'arc continu de la renaissance. En Angleterre, au reste, la renaissance n'a pas cessé d'être gothique, et a constitué ce que les Anglais appellent le style Élisabeth.

C'est à l'Allemagne ancienne, (comprenant l'Alsace, la Lorraine, les Pays-Bas, etc.), que M. Th. Hope (Histoire de l'Architecture) attribue l'invention du style ogival. Ce qui est certain, c'est qu'elle l'adopta avec une ardeur toute particulière qu'explique assez bien l'absence des traditions romaines dans ce pays comparé à l'Italie, à la France, etc. L'Allemagne seule, dès le moment où le style ogival apparût dans l'architecture, l'employa également dans les autres productions des beaux-arts, dans la sculpture, la ciselure, la peinture, l'écriture même; elle prodigua dans tous ces arts de longues lignes perpendiculaires, des angles aigus, des ornements de toute sorte analogues à ceux des édifices gothiques; ce qui montre amplement que ce style n'était pas une mode importée de l'étranger, mais que dans tous les arts il procédait de la même source, c'est-à-dire du goût national des artistes allemands.

On voit, par ce qui précède, comment on peut établir plusieurs subdivisions dans le style ogival[1], et distinguer :

1° Le style ogival primaire ou à lancettes, voisin du roman, xii[e] et xiii[e] siècles;

2° Le style ogival secondaire ou rayonnant, ainsi nommé de la forme rayonnante des

[1] Les plus célèbres constructions du style gothique ogival sont :

En France : La Sainte-Chapelle, par Pierre de Montereau, sous saint Louis. — Notre-Dame de Paris (xii[e] et xiii[e] siècles); — les cathédrales de Reims, Bourges, Évreux, Laon, Amiens, Noyon, Strasbourg (par Jehan de Steinbach). Soissons (xiii[e] et xiv[e] siècle); — Saint-Ouen, Saint-Maclou, les églises de Tours, Bresl (xiv[e] et xv[e] siècles).

En Allemagne : la cathédrale de Cologne.

En Angleterre : Westminster.

roses, des quatre-feuilles qui ornent les fenêtres ; ce style règne aux XIIIe et XIVe siècles.

Enfin 3e le gothique tertiaire ou flamboyant, aux XIVe et XVe siècles, employant des décorations en forme de flammes ou de langues, variant à l'infini des ornements qui, par leur perfection, annoncent la renaissance, et qui a produit des œuvres charmantes qui peuvent être classées également dans ces styles voisins, tels par exemple que Chambord et l'hôtel Bourgtheroulde (que nous donnons plus loin).

STYLE RENAISSANCE.

L'Italie, couverte des monuments de l'antiquité, n'avait jamais voulu adopter le style ogival. Elle donna le signal du retour aux traditions de l'antiquité, lorsque la

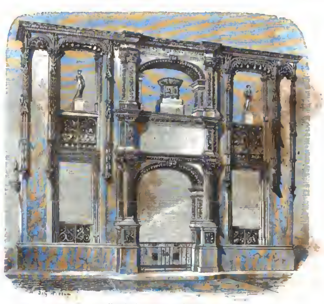


Saint-Pierre de Rome.

richesse des nations modernes rendit possible un état nouveau de la société, lorsque la découverte de l'imprimerie vint rendre irrésistible l'impulsion due aux idées nouvelles.

Bien que le retour au classique, à l'antiquité, fût le drapeau des artistes qui se sont immortalisés à cette grande époque de la Renaissance, le génie propre de ces artistes vint donner à leurs œuvres un caractère nouveau correspondant aux éléments des temps modernes, et surtout aux idées chrétiennes, si différentes des idées païennes. C'est dans la peinture que l'on peut surtout le reconnaître, et Raphael doit être cité comme le type immortel de cette alliance de l'art chrétien avec la restauration de l'art grec. Pour ne pas sortir de notre sujet, de l'Architecture, nous dirons que le sentiment de la pureté des lignes et des proportions vint faire renaître en quelque sorte les lignes horizontales; les arcs surbaissés presque rectilignes, reposant sur des colonnes, remplacèrent les voûtes ogivales de forme aiguë.

Pour passer en revue les principaux types de construction de la Renaissance, nous devons d'abord citer des églises. La plus colossale de toutes est Saint-Pierre, formée de la coupole du Panthéon d'Agrippa « suspendue dans les airs, » grande conception du génie universel de Michel-Ange, qui sut imprimer à cette œuvre le sentiment de la domination universelle de la papauté en employant les éléments fournis surtout par la tradition romaine classique, mais agrandis dans des proportions jusque-là inconnues. Nous donnons ici la vue de l'extérieur de ce temple, digne d'être le premier temple du monde chrétien, par son immensité et la splendeur de ses décorations malheureu-



Façade du chateau de Gaillon

sement exagérées, au XVIIe siècle, par le Bernin qui y fit des additions de mauvais goût.

Toutefois, sauf dans le cas qui précède et dans un petit nombre d'autres, ce n'est pas par l'immensité des édifices, c'est plutôt par la modération de la grandeur de

l'élément architectural que la Renaissance se distingue, revenant ainsi plutôt à l'art grec qu'à l'art romain, avec un admirable sentiment du caractère élégant du premier.

Ce qui y a beaucoup contribué, c'est que l'architecture de la Renaissance ne fut plus seulement religieuse comme celle du moyen âge; elle fut bien plutôt laïque. Les châteaux, les maisons se multipliant, réclamèrent tous les ornements de l'architecture et de la statuaire, et fournirent un vaste champ aux œuvres qu'engendrait l'imagination d'une multitude d'artistes créateurs.

On ne saurait trop remarquer, dans les créations de l'architecture de la Renaissance, avec quelle confiance les artistes se livraient à leur imagination, pour combiner les détails de l'architecture sans se traîner dans des voies déjà tracées; avec quel sentiment net des proportions les plus harmonieuses, avec quelle fécondité, quelle grâce, à l'aide de quel large emploi de la sculpture décorative ils savaient remplir les con-



Hôtel Bourgtheroulde, à Rouen.

ditions d'élégance qui caractérisent les créations de cette époque, où les arts ont joué un si grand rôle. Nous allons en donner quelques exemples célèbres.

Le château de Gaillon, construit pour le cardinal d'Amboise, et dont nous reprodui-

sous l'élégante façade, telle qu'on la voit aujourd'hui dans la cour du palais des Beaux-Arts, conserve encore quelques traces du gothique ; mais on y trouve une élégance, une pureté de lignes qui rappelle heureusement l'art grec. Les colonnes, de peu de hauteur comme dans la plupart des constructions de la Renaissance, se trouvent de dimensions convenables pour l'encadrement des fenêtres, des portes, et ne paraissent jamais des hors-d'œuvre.

A côté de cette élégante construction, due surtout au goût italien, nous citerons l'hôtel Bourgtheroulde de Rouen, qui nous fournit un exemple de charmante habitation privée, et montre combien les architectes de cette époque savaient, comme ils l'ont fait dans cette construction moitié gothique, moitié renaissance, modifier le gothique pour en conserver des parties élégantes, les aigrettes, les dentelles de pierre, etc., et les mélanger avec les arcs surbaissés et les bas-reliefs multipliés du nouveau style.

Enfin, nous terminerons par le chef-d'œuvre des constructions de la renaissance en France, le Louvre, élevé par Pierre Lescot architecte français. On ne saurait trop



Cour du Louvre.

admirer les heureuses dispositions de cette construction, la symétrie des avant-corps, l'élégance des colonnes, la richesse, l'habile profusion des décorations sculptées Dans ce monument, dit M. Vaudoyer, aucune influence étrangère ne se fait sentir ; c'est une

production vraiment nationale qui l'emporte de beaucoup sur ce qui l'a précédée, et qui n'a pas été surpassée depuis [1].

STYLES LOUIS XIV ET LOUIS XV.

Sous le siècle de Louis XIV, on chercha en tout le grandiose. Pour l'architecture, tout en reprenant les traditions de l'antique, on accrut les dimensions des éléments sans rien garder des souvenirs de la Renaissance, dont les œuvres n'étaient plus jugées assez imposantes.

Si la plupart des édifices construits alors peuvent être considérés comme des imitations de l'art romain auquel ils se rattachent plus directement qu'à l'art grec, quelques-uns cependant, franchement inspirés par les idées de l'époque et dus à des artistes distingués, ont un caractère qui leur est tout à fait propre, et sont restés à une belle place dans l'opinion publique. Nous citerons dans le nombre, et au premier rang, la colonnade du Louvre, œuvre de Perrault.



Colonnade du Louvre.

Ce monument, dans lequel on doit remarquer un premier emploi de colonnes acco-

[1] Parmi les chefs-d'œuvre de la renaissance, nous citerons :

En Italie : Saint-Pierre à Rome; la Basilique de Vicence; San Pietro in Montorio — à Florence : Cathédrale; palais Pitti; palais Médicis. — à Pise : Campo-Santo.

En France : Fontainebleau; maison de Moret· palais du cardinal d'Amboise, Louvre; château d'Anet; Tuileries.

Les plus grands architectes de cette époque furent : — Brunelleschi, Michel-Ange Buonarotti le Bramante, Raphaël, Palladio, Pierre Lescot, Philibert Delorme.

lees, qui excita l'admiration des contemporains et causa un enthousiasme dû surtout au mérite de la nouveauté de cette disposition.

L'amour du grandiose, appliqué mal à propos aux édifices privés, donna dans ce cas des résultats mauvais; des pilastres ou des colonnes gigantesques encadrant plusieurs étages dans leurs lignes monotones donnent l'idée d'un édifice trop grand pour notre usage, qu'il faut gâter en quelque sorte pour y loger de simples humains. Comme exemple de constructions à laquelle s'appliquent cette observation, et comme type des constructions du règne de Louis XIV, nous citerons, le château de Versailles, construit sur les plans de Mansard. Dans cet édifice, un rez-de-chaussée sévère avec arcades supporte des colonnes de la hauteur de deux étages que surmontent un architrave, un fronton, etc.

Nous ne parlons ici que des monuments du siècle de Louis XIV qui se distinguent d'une imitation de l'antiquité ou des constructions élevées en Italie. Nous donnerons



Porte Saint-Denis

maintenant, comme interprétation du style romain dans le goût de l'époque, la porte,

Saint-Denis (construite par Blondel), inspirée par l'arc de triomphe romain, mais singulièrement agrandi, et qui possède un caractère propre de grandeur.

Nous ne citerons ici que pour mémoire l'époque du règne de Louis XV qui n'a eu qu'une médiocre importance pour l'architecture proprement dite, malgré quelques belles œuvres, telles que les bâtiments de la place Louis XV, construits par Gabriel, qui sont une imitation excellente de Perrault.

Le goût italien des Bernin, des Borromini, qui commença à réussir sous la vieillesse de Louis XIV, vint exagérer la multiplication déjà admise de trophées et ornements analogues, et mettre à la mode une profusion d'ornementations qui seules méritent de fixer l'intérêt, car elles ont constitué le style Louis XV, qui occupe une grande place dans la décoration industrielle, comme nous le reconnaîtrons bientôt en étudiant ses applications nombreuses dans le mobilier, l'orfèvrerie, etc. Mais, au point de vue de l'Architecture, on ne peut guère citer d'exemples plus complets que les hôtels du faubourg Saint-Germain. Leur inspection montre bientôt que les architectes de l'époque étaient bien moins préoccupés de l'intérieur que de l'extérieur. Ces constructions consistent en général en grandes masses rectangulaires, offrant un vaste espace pour des pièces de grande dimension; l'ensemble n'est en général remarquable qu'au point de vue des bonnes dispositions intérieures, et, comme nous le disons plus haut, des ornements. Un seul genre de décoration extérieure propre à ce style doit être cité. nous voulons parler de la volute qui accompagne à l'étage le plus élevé les parties latérales des fenêtres, dont la partie supérieure est courbe.

STYLE MODERNE.

Les agitations de l'Europe pendant la République, le Consulat et l'Empire, laissèrent trop peu de calme aux esprits pour traduire les aspirations du siècle à l'aide des grandes créations de l'architecture. De plus, l'admiration exagérée de l'art antique conduisit les architectes à copier servilement, de toutes pièces, les monuments de l'antiquité, et leur fit élever des édifices souvent défectueux, parce que le charme disparaissait en modifiant l'échelle de la construction. Ce système donna cependant quelquefois de beaux résultats : la colonne de la place Vendôme est une heureuse imitation de la colonne Trajane, et l'arc de triomphe de l'Étoile est plus grandiose que l'arc de triomphe romain, dont il est une imitation. Toutefois, l'originalité manque, et sauf quelques exceptions peu nombreuses et insuffisantes pour constituer un style, l'on doit considérer cette époque comme n'occupant aucune place parmi celles qui ont vu les arts constituer un type nouveau.

Depuis, sous la Restauration et après 1830, l'étude des monuments gothiques, le progrès des sciences et de la richesse, les travaux d'artistes de talent, ont avancé l'œuvre, qui consiste à formuler l'art du XIXe siècle. Il n'est certes pas constitué, mais quelques éléments se dégagent chaque jour. Cette question a été l'objet des travaux d'un trop grand nombre d'artistes de talent pour que nous osions formuler ici inci-

demment une réponse; nous dirons seulement que la tendance dominante dans la plupart des cas consiste à reprendre des traditions de la Renaissance et fait rechercher par le goût public un emploi de la sculpture décorative semblable à celui qui en fut fait à cette époque, c'est-à-dire que, par sa délicatesse, elle se confond tout-à-fait avec la statuaire. Enfin, dans quelques cas, on cherche des effets nouveaux et qui surprennent l'admiration, à l'aide des ressources offertes par les progrès de l'art de la construction.

Le plus éminent progrès de cet ordre réside dans l'emploi du fer dans les édifices, qui permet d'obtenir des portées horizontales autrefois impossibles; mais il paraissait d'une extrême difficulté d'en tirer un effet heureux. Un chef-d'œuvre est venu montrer la route; nous voulons parler de la gare du chemin de fer de Strasbourg, due à M. Duquesnay, architecte, qui a su manier également le fer et la pierre, profiter



Gare du chemin de fer de Strasbourg.

de l'étendue de la toiture pour placer sur la façade une rosace digne du moyen âge, harmonieusement encadrée. C'est là une belle œuvre, non imitée, bien de son époque, respectant les conditions de convenance, d'unité, d'élégance; une de ces œuvres qui peuvent faire à une époque une place dans le mouvement des arts.

En Angleterre, l'imitation alternative du grec et du gothique, n'a pas produit, à notre époque, d'œuvre d'un caractère nouveau. Le Palais de Cristal, qui a servi à loger l'exposition universelle de 1851, est la construction la plus remarquable et la plus nouvelle qui ait été élevée dans ce pays; elle a donné le type le plus convenable incontestablement pour les constructions de serres, de bâtiments d'Expositions, etc.

C'est à juste titre qu'elle a illustré sir J. Paxton, qui l'a conçue, et a su obtenir des effets très-heureux, notamment dans le transept du Palais de Cristal, que tout le monde connaît. La plupart des autres grandes constructions de Londres sont des imitations; certes, le nouveau palais du parlement à Westminster est une belle œuvre qui rappelle bien le caractère traditionnel de la civilisation anglaise; mais ce n'est pas une œuvre nouvelle, c'est une imitation.

Dans ces dernières années, les Allemands, et surtout la brillante école de Munich, ont produit, avec bien des imitations d'édifices des temps antérieurs, qui font ressembler notamment cette dernière ville à un véritable musée de monuments, de belles œuvres d'un caractère particulier. Elles se distinguent par l'emploi de la coloration; en effet, non-seulement les peintures murales y sont fréquentes, mais encore la brique et la pierre blanche y sont souvent mêlés et donnent à ces monuments un caractère quelque peu oriental.

CIVILISATIONS ASIATIQUES ET ORIENTALES.

STYLE INDOU.

Les anciens temples de l'Inde, aussi bien que ceux de Ninive, récemment découverts.



Temple d'Ellora.

rappellent les monuments religieux, les nécropoles de l'ancienne Egypte. L'étude

de ces monuments, de ces styles, les plus anciens que nous puissions connaître, mériterait qu'on s'y arrêtât longuement, car c'est dans les types les plus anciens qu'il faut surtout étudier les éléments qui se répètent en se transformant à l'infini dans les divers styles qui ont succédé à ceux-ci ; raisonnement vrai pour tout élément de la décoration industrielle comme pour les monuments. Malheureusement les documents sont rares, les restes peu nombreux. Parmi les œuvres les plus remarquables, nous citerons un de ces temples taillés dans le roc et qui sont d'une étendue immense. Le temple d'Ellora, dont nous donnons ici le dessin, est de ce genre. On y remarque des colonnes basses, dont le fût est orné de sculptures, et dont le chapiteau est de forme renflée d'une façon toute particulière; on la retrouve dans nombre de décorations de produits de l'Inde.

D'autres temples célèbres de l'Inde sont de construction plus moderne ; au style indien sont venus se mélanger le dôme et les coupoles, parce qu'ils sont dus aux conquérants mahométans. Ils rentrent dans la division suivante, tout en ayant en partie conservé un caractère spécial.

STYLE ARABE, MAURESQUE.

La civilisation arabe qui a jeté tant d'éclat en Egypte, à Bagdad, nous est révélée par des monuments qui reflètent admirablement la richesse d'imagination des Orientaux, aussi bien que leur goût pour les couleurs éclatantes.

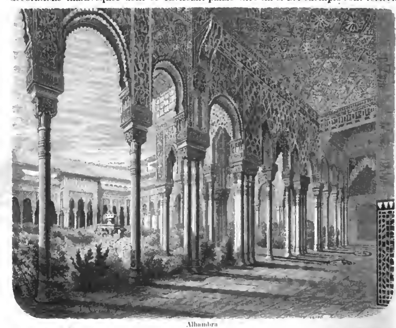
Les formes de ces édifices procèdent directement de l'art byzantin, qui a eu sur l'art arabe une influence incontestable; celui-ci a conservé les éléments que les nations occidentales ont abandonnés, et a exagéré les différences qui séparent le byzantin du romain. Ainsi, les arcs toujours reposant sur colonnes ont un type particulier; ils sont rentrants à la base, et comprennent plus d'une demi-circonférence. Cette architecture emploie aussi souvent des pendentifs d'une extrême légèreté qui rappellent des stalactites, et le dôme s'enfle tellement qu'on le voit fréquemment prendre la forme d'un bulbe.

La Perse a exercé sur l'art arabe une grande influence, qui augmenta encore lorsque les deux pays eurent embrassé la foi de Mahomet. La Perse avait des traditions propres, dont les ruines de Persepolis nous ont révélé la source.

C'est naturellement en Orient, à Constantinople, au Caire, à Bagdad, que doivent se rencontrer les principaux exemples des constructions de style arabe. On en trouve aussi en Europe; les relations intimes de Venise et de la Russie avec Constantinople ont fait imiter l'architecture des Orientaux dans ces deux pays.

C'est en Espagne surtout, dans le beau pays de Grenade et de Cordoue, que l'art mauresque, la branche la plus brillante de l'art arabe, a créé ses chefs-d'œuvre; l'arc en fer à cheval constitue la forme favorite et caractéristique de ces constructions. L'Alhambra, dont nous donnons ici la cour intérieure ornée d'une fontaine, luxe si précieux dans les pays chauds, a toujours excité l'enthousiasme des voyageurs. Les

décorations mauresques dont ce ravissant palais offre un si bel exemple sont restées



Alhambra

le type d'un genre d'ornementation qui a trouvé une multitude d'applications indus-



Porte de la mosquée de Cordoue.

trielles. La loi musulmane interdisant la représentation d'êtres animés, c'est vers

la combinaison des lignes, des couleurs éclatantes, du bleu, du rouge, de l'or, que se porta le goût des artistes. Ces treillis formés de courbes s'entrelaçant à l'infini, définis par les exemples que nous citons ici et à la fin de cet Essai, et auxquels on a donné le nom d'arabesques, forment les principaux éléments de décoration de ces édifices, dont l'éclat se comprend mieux quand on sait que ces décorations étaient produites sur les murailles à l'aide de poteries colorées et vernissées [1].

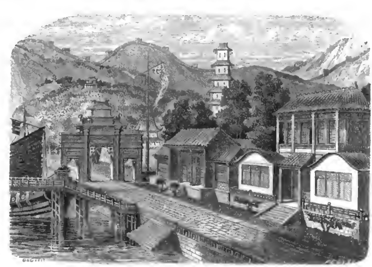
Nous donnons encore la porte de la mosquée de Cordone, qui permettra d'apprécier ce genre de décoration, reproduit dans cette figure sur une plus grande échelle que dans le dessin qui représente la cour de l'Alhambra.

On voit par ce qui précède que le style dont nous traitons comprend trois subdivisions principales :

Le style sarrazin ou arabe pur ;—le style mauresque ;—le style persan.

STYLE CHINOIS.

Les Chinois, si industrieux dans les petites choses, ne paraissent pas s'être élevés jusqu'à la conception et à l'organisation des grands travaux de construction. Aussi



Ville chinoise.

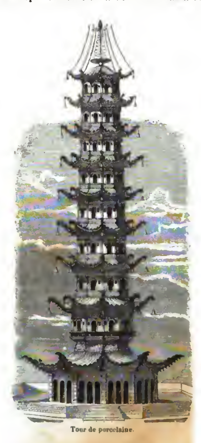
ne connait-on de ce pays aucun édifice comparable à nos grands monuments. Au

[1] Principaux monuments des Maures d'Espagne : la Tour de la Giralda, l'Alcazar, à Séville ,—l'Alhambra, à Grenade ;—la Mosquée de Cordoue.

reste, les règles immuables qui règlent la construction de tout édifice en raison de l'importance du personnage qui doit l'habiter, rendent tout progrès bien difficile.

Comme caractères principaux de cette architecture, on doit signaler l'apparence de tentes qu'offrent les maisons, l'emploi de piliers de bois très-elevés pour former des galeries, les toits retroussés à leurs extrémités ornées de pendentifs, qui donnent aux constructions un aspect tout particulier. Nous avons cherché à reproduire dans la figure ci-contre l'effet des divers éléments de cette architecture.

L'emploi de la porcelaine, produite si abondamment en Chine, est assez fréquent dans les édifices. Nous représentons ici un monument bien connu, dit la Tour de



Tour de porcelaine.

Porcelaine, parce qu'elle est entièrement incrustée en cette substance. Commencée en 1403, elle fut achevée en 1432.

SECTION II.

CÉRAMIQUE

L'art céramique, dont le nom provient de κεραμος, nom grec d'une poterie, ou, suivant quelques auteurs, d'un quartier d'Athènes où travaillaient les potiers devenus de véritables artistes, est peut-être celui où les styles se sont révélés le plus nettement. Toutes les nations, dès leur origine, ont eu des vases de terre; et la moindre tendance à l'élégance a dû se révéler dans ces ustensiles vulgaires. Les Égyptiens, les Grecs, les Arabes, ont excellé également dans l'Architecture et la Céramique, deux arts primitifs dont la liaison est intime et dont les produits tirent leur charme non de l'imitation d'objets naturels, mais de l'harmonie de leurs proportions géométriques [1].

Il importe de remarquer, avant tout, que les moyens de fabrication des poteries ayant une valeur artistique, n'ont pas toujours permis aux diverses époques de traduire

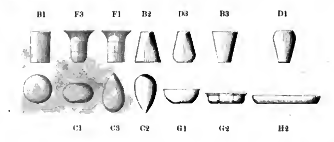
[1] Un de nos plus spirituels feuilletonistes, M. Théophile Gautier, qui est excellent juge en matière d'art, fit sur une Exposition quelques feuilletons où l'appréciation des caractères propres à chaque création industrielle était parfaite, tout en étant présentée sous une forme légère; où était bien sentie la relation intime entre les mœurs, les idées d'une nation et les produits de son industrie, idée que cet ouvrage a surtout pour but de faire bien comprendre. Nous lui empruntons quelques lignes relatives aux poteries.

« Les potiches chinoises, dit-il, n'ont-elles pas l'air d'honnêtes mandarins bénignement pansus..., le Céleste Empire n'est-il pas tout entier dans une théière? L'Égypte, avec ses Anubis à tête de chien, ses éperviers sacrés, ses scarabées mystiques, ses pylônes, se résume tout entière dans une urne. Ce pot au goulot court, aux épaules embarrassées, aux bras pris dans les flancs, ne vous rappelle-t-il pas un sphinx de Karnac engagé dans son piédestal, une momie emmaillotée dans ses bandelettes? Ces patères étrusques aux contours harmonieux et sveltes, aux peintures sur fond rouge ou fond noir, ne font-elles pas penser, par la beauté et la jeunesse de leurs formes, aux dieux de l'Olympe, aux athlètes frottés d'huile et luttant dans le cirque? L'Espagne ne trahit-elle pas l'invasion moresque par ses tinajas, ses cantaros, ses jarras et ses alcarazzas en terre poreuse où se trouve inscrit le trèfle arabe? N'y a-t-il pas tout le désordre spirituel, tout le papillotage amusant et facile du XVIII[e] siècle, dans les lignes tourmentées et pourtant coulantes de ces porcelaines contemporaines de Voltaire et de M[me] de Pompadour? »

leurs aspirations par des œuvres dignes de prendre place dans l'histoire de l'art; qu'on n'a pas toujours disposé comme aujourd'hui de ces belles glaçures, de ces riches colorations, de ces brillantes dorures que nous admirons si justement. Les progrès techniques ont eu, dans la Céramique, une grande influence sur les progrès artistiques, comme on le reconnaît facilement par la beauté des productions modernes.

Fabriqués à l'aide du tour, les produits de la Céramique sont toujours (sauf les cas peu nombreux de fabrications spéciales ou d'empiétements de la Céramique sur la Statuaire) des solides de révolution, des cylindres, des cônes à génératrice rectiligne ou curviligne. Quant aux proportions agréables à l'œil, M. Ziégler, dans ses « Études sur les arts céramiques, » pose plusieurs principes, que nous rapporterons d'après lui, et qui sont le résultat de son expérience guidée par un goût sûr.

Il décrit les formes de la Céramique qui, par la nature de leur fabrication, sont des surfaces de révolution, des dérivations de la forme cylindrique; celle-ci, dans sa



pureté, donne les formes B1, B2, B3; par ses combinaisons avec des parties circulaires, on obtient les formes F1, F3, D1, D3. Les formes ayant deux ordres de génératrices circulaires sont, avec la sphère, qui n'appartient pas à la Céramique, mais à une industrie bien voisine, à la Verrerie, les formes de tore C1, d'œuf C3, C2, les formes cratéroïdes G1, G2, discoïdes H2.

Quant aux proportions de ces diverses formes, il établit : que pour un vase cylindrique, conique, etc., la hauteur doit être au moins trois fois le rayon, et six fois au plus pour ceux dont la hauteur excède la largeur. Si, au contraire, la largeur excède la hauteur, comme dans les cratéroïdes et les discoïdes, cette largeur doit être de deux fois au moins et de cinq fois au plus la hauteur; enfin, un vase en forme de cône renversé ne doit pas avoir en hauteur plus de deux fois son diamètre moyen.

La forme ovoïde, résultant d'un cône à génératrice curviligne, est une des formes purement céramiques qui peuvent être les plus gracieuses. Il a donné l'idée de l'ove, ornement d'architecture souvent employé dans les entablements.

La forme sphéroïde aplatie, la forme cratéroïde et les formes ovoïdes sont, après les formes cylindriques, celles que l'on rencontre le plus souvent. Nous allons le voir en étudiant les produits des divers arts chez les nations qui ont toutes, dès leur origine, créé, en abondance, des vases de terre, vases d'une utilité presque absolue. Nous suivrons les indications de l'ouvrage du savant M. Brongniart pour déterminer les caractères des produits de ces diverses époques.

STYLE ÉGYPTIEN.

Les poteries des anciens Égyptiens étaient formées d'une pâte grisâtre ou jaunâtre; elles étaient recouvertes d'une glaçure bleue ou verte et décorées d'ornements noirs, généralement en zigzags. La forme générale de ces vases est celle dite canopienne [1], provenant du conoïde renversé; des têtes venaient souvent former la partie supérieure du vase, comme dans celui représenté sur la figure ci-contre.



Vase égyptien.

Les vases des égyptiens sont généralement d'aspect sévère, et en rapport avec la sculpture de granit de cette nation. Ce n'était pas chez ce peuple que l'élégance des formes céramiques, des décorations variées à l'infini devait prendre naissance. Il faut remarquer toutefois certaines pièces, comme exécution et comme caractère spécial résultant de formes qui appartiennent exclusivement au style des contemporains de Sésostris

STYLE GREC.

La poterie des Grecs est rougeâtre ou d'un brun jaunâtre, les formes en sont

[1] Nom provenant de Canope, ville d'Égypte, où des vases de cette forme étaient employés à filtrer l'eau du Nil.

simples, les contours purs et les ornements formés de palmettes et de méandres : les figures en général sont roides, mais d'un dessin ayant de la noblesse.

Les affinités de la Céramique et de l'Architecture, au point de vue de l'esthétique, font bien comprendre que les Grecs ont dû y exceller. M. Ziégler admet comme incontestable que c'est la Céramique qui a fait progresser l'Architecture en Grèce par ses essais de chaque jour; quoi qu'il en soit, l'influence réciproque de ces deux arts également prospères ne saurait être douteuse, et par suite le développement de l'art céramique n'aura sûrement pas été inutile à celui de l'Architecture.

Nous donnons ici un beau modèle de la fabrication grecque, un de ces vases qu'on donnait aux vainqueurs dans les fêtes publiques, la coupe d'Arcésilas, que les antiquaires



Coupe d'Arcésilas.

rapportent au temps de Pindare (500 ans avant J.-C.). Elle est décorée avec du noir et



Coupe d'Arcésilas.

du rouge de brique fait avec du peroxyde de fer étendu d'argile, et du blanc par appli-

cation d'une terre blanche. L'élégance de la forme et de la décoration de cette coupe frappe les yeux les moins exercés. Le sujet dessiné à l'intérieur représente le paiement des tributs, et, bien que le dessin ait une certaine roideur conventionnelle, cependant les formes n'ont rien d'irrégulier. Tout révèle chez le peuple qui produisait de semblables vases un beau sentiment de la forme, la popularité du dessin et de la plastique.



Lecythus Athenien.

Dans les petits vases cylindroïdes du genre de ceux représentés sur la figure ci-contre, dont le nom était « Lecythus, » et qui viennent principalement d'Athènes, le blanc entoure la partie cylindrique du corps du vase. Cette couleur est caractéristique des vases qui viennent de la Grèce proprement dite.

C'est surtout dans la Campanie, dans la Grande-Grèce, que l'on a trouvé le plus grand nombre de poteries de fabrication grecque. Sur un fond rougeâtre est placée la couleur noire toute caractéristique des vases campaniens, poterie faite par les peuples de la Grande-Grèce, et dont nous allons parler plus loin sous le nom d'Étrusques, par lequel ils sont vulgairement désignés.

STYLE ROMAIN, ÉTRUSQUE.

La description que nous avons donnée plus haut d'une coupe grecque et sa décoration rappellent les poteries étrusques. C'est qu'en effet la similitude des deux fabrications est assez grande pour qu'il soit incontestable que les Étrusques (presque sûrement issus d'une colonie grecque) ont reçu leurs modèles, leurs traditions de la Grèce. Cependant certaines poteries étrusques, d'une pâte noire enfumée, sont de bien des années antérieures à celles trouvées surtout dans la Grande-Grèce et qui seules sont célèbres par des décorations qui appartiennent à l'art grec, secondé par les ressources que le climat avait mis à la disposition des artistes de cette contrée, c'est-à-dire par des vernis probablement d'origine volcanique que le sol leur présenta tout formés. Nous ne nous étendrons pas sur cette question et nous passerons aussi sous silence les véritables poteries romaines à pâte rouge avec des ornements en relief, très-différentes des poteries grecques qui, comme les poteries à pâte noire, appartiennent à une fabrication bien moins avancée que celle des poteries campaniennes. Cette poterie à pâte rouge, qui se trouve souvent, était la poterie commune; c'était aux potiers grecs et aux étrusques que les Romains demandaient les vases d'art. Ce sont ces produits qui méritent surtout un grand intérêt.

Nous donnons ici le plus beau des vases étrusques de la collection du Louvre, justement célèbre : la pureté du dessin qui le recouvre permet, comme dans toutes les œuvres de cette belle fabrication, de bien apprécier la valeur artistique de ces admirables produits. C'est pour orner nos collections de ces beaux vases qu'on fouille

encore aujourd'hui avec succès les tombeaux anciens. On sait que dans ces tombeaux, on déposait à côté des corps, des lampadaires, des urnes funéraires, des bijoux, etc.



Vase étrusque de la collection du Louvre.

Les produits de la Céramique, par suite de leur inaltérabilité, nous sont seuls parvenus ou au moins seuls dans un état de conservation qui permet d'en orner nos musées.

ARTS CÉRAMIQUES PENDANT LE MOYEN AGE.

La Céramique était peu en honneur au moyen âge et il ne paraît pas qu'il ait été fait beaucoup de tentatives pour en élever les produits à la hauteur de l'art, pour sortir de la fabrication la plus commune. On avait même perdu les procédés employés par les Grecs, les Étrusques et les Romains, pour décorer les poteries. C'était en orfèvrerie qu'on s'efforçait de fabriquer les aiguières, les plats, la vaisselle; en

employant ainsi des matériaux précieux pour rehausser le travail de l'artiste. Nous n'avons pas d'exemple saillant de cette fabrication à rapporter ici, ni à en faire valoir de caractères importants au point de vue de l'art. Ce n'est guère qu'à l'état de carreaux décorés, et pour lutter avec la mosaïque byzantine, qu'il reste des œuvres assez remarquables. On connaît des laves peintes qui remontent au XII[e] siècle.



Carreaux émaillés

Nous donnons ici un modèle de ce genre de travail, composé d'après l'étude des carreaux de l'époque par M. Pugin, architecte anglais, justement célèbre par ses études sur le moyen âge.



Grès flamand

C'est vers la fin de cette période que la faïence commença à paraître (nous verrons que sa fabrication existait depuis longtemps chez les Arabes); mais comme c'est à la renaissance que cette fabrication jeta tout son éclat, nous allons en traiter sous cette division.

Citons toutefois ici les grès-cérames de Flandre, de Hollande et d'Allemagne, qui eurent, de bonne heure, un cachet artistique assez remarquable, mais qui n'arrivèrent que plus tard à la perfection qui les rendit célèbres au XVII[e] siècle. Nous en donnons pour exemple une étude faite d'après leurs formes traditionnelles, par l'habile M. Ziégler.

STYLE RENAISSANCE.

Vers le commencement du XVe siècle, on vit apparaître une poterie toute différente de ce qui avait été fait jusque-là, et à laquelle on donna le nom de « Majolica, » qui dérive, suivant Scaliger, de « Majorica, » Mayorque, transformé par coquetterie de langage. Les procédés de sa fabrication, inconnus aux époques antérieures, ont pu parvenir par cette voie de l'Espagne, où les Arabes les avaient apportés, comme nous le dirons bientôt. Cette faïence tirait surtout son éclat d'un émail blanc opaque dont elle était recouverte et qui cachait la couleur plus ou moins sale de la pâte. Lucca della Robbia, sculpteur de Florence, s'illustra surtout dans ce genre de production, donna de la solidité à ses figures et à ses bas-reliefs d'argile en les cuisant, puis les recouvrit de colorations brillantes qu'il sut varier et qui compreuaient surtout le jaune, le bleu et le vert.

Cette nouvelle et splendide statuaire, relevée par des émaux de diverses couleurs, fut très-admirée et sembla devoir donner naissance à une nouvelle branche de l'art. Nous donnons une idée de ce genre de travail par un dessin qui représente une pièce de l'œuvre de Lucca della Robbia, un sujet de piété composé par cet artiste, et rendu inattaquable et brillant par la cuisson et l'émaillage. Si l'avenir n'a pas réalisé les espérances qu'on avait pu concevoir, s'il n'est pas resté de ces tentatives un procédé propre à rivaliser avec la statuaire, à produire un moulage coloré qui soit devenu un genre adopté par l'art, il n'en est pas moins vrai qu'en rendant certaines poteries des objets d'art, ce progrès fit reprendre à la Céramique le rang élevé qu'elle avait en Grèce[1].

La fabrication de la Majolica fut dans l'état le plus florissant de 1540 à 1560. Ce fut principalement à Casteldurante, sous la conduite d'Orazzio Fontana D'Urbin, et à Florence, sous celle de son frère Flaminio, qu'on fit de grandes plaques de faïence, sur lesquelles ils peignirent des sujets historiques; cette industrie faisant ainsi des excursions dans le domaine de la peinture aussi bien que dans celui de la plastique.

Les progrès accomplis en Italie ne se firent sentir que plus tard en France, vers le XVIe siècle. Girolamo della Robbia, petit-neveu de Lucca, vint en France décorer, pour François Ier, le château de Madrid près Paris.

Les procédés de Lucca della Robbia et de ses successeurs immédiats dans l'art de faire la faïence Majolica furent bientôt entièrement perdus ou au moins restèrent tout à fait inconnus en France; car les essais opiniâtres de Bernard de Palissy, le grand artiste dont nous rencontrons ici les travaux, eurent pour but d'imiter une coupe

[1] Lucca della Robbia fut protégé par cette grande famille des Médicis, qui fit tant pour la splendeur des arts à l'époque de la renaissance. Ses travaux n'atteignirent pas l'industrie proprement dite ; ce genre de fabrication disparut quand cessa l'encouragement des souverains.

émaillée qu'il vit en 1530[1]. Tous ses essais, tous ses travaux pour retrouver les émaux blancs et colorés le conduisirent à devenir maître de ses effets; les musées renferment

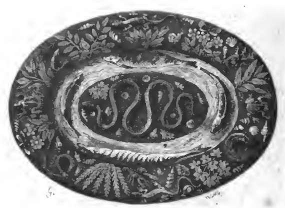


Faience de Lucca della Robbia.

les pièces curieuses de tout genre qu'il exécuta, et surtout des plats destinés aux dressoirs renfermant des poissons, coquilles, etc. Nous en reproduisons ici un des plus

[1] Quelques antiquaires rapportent cependant à la fabrication de Nuremberg la coupe qui servit de modèle au héros de la poterie française.

remarquables que l'on voit au Musée de Cluny. Certes il y a dans ce genre de pro-



Plat de Palissy.

duction un mérite réel; cependant en dehors du talent nécessaire pour surmonter les difficultés, nous n'attachons pas une très-grande importance à ces œuvres.

L'art céramique nous paraît faire fausse route quand il entre dans ces voies d'imitation et qu'il se propose de reproduire des fleurs, des animaux, etc. La faïence (et à plus forte raison la porcelaine et les poteries modernes faites avec des substances modérément plastiques, donnant en général des contours plus durs) a son véritable emploi dans la confection d'objets de formes géométriques bien proportionnées, rehaussées par des colorations brillantes, des émaux qui réfléchissent la lumière comme des pierres précieuses, et se marient parfaitement avec le blanc glacé du fond. Au moins est-il que l'espèce de sculpture colorée et brillante que nous rappelons n'a pas eu un succès durable dans les temps modernes; l'industrie se borne en général dans ce genre à des imitations des œuvres de Palissy.

Un mérite plus réel, à nos yeux, de Bernard de Palissy, c'est que par ses productions variées, il peut, à juste titre, être regardé comme l'inventeur des faïences fines à glaçures plombifères qui se répandirent sous le nom de terre de pipe, et furent ensuite si brillamment améliorées par Wedgwood, le célèbre potier anglais.

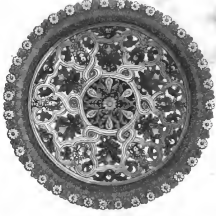
Nous donnerons comme échantillon des œuvres de Palissy dans la voie d'une



Coupe de Palissy.

ornementation plus en rapport avec la nature de la poterie, une belle coupe dont le dessin nous est fourni par M. Brongniart. La forme des enroulements vermicellés qui

en constitue la décoration est tout à fait heureuse et fait valoir l'éclat de l'émail par la multiplicité des points brillants [1].



Coupe de Palissy.

A partir de cette époque, on peut dire que les procédés techniques eurent atteint le degré de perfection qui rend l'art possible, point important à considérer dans toute fabrication. Nous voulons parler du moment où les ressources sont suffisantes, les



Coupe de Henri II.

résultats assez assurés, pour que l'industriel puisse devenir artiste, pour que la personnalité, l'imagination du producteur puisse se traduire en œuvres d'art.

1 Bernard de Palissy est resté le héros des potiers et un grand exemple de ce que peuvent produire un

En même temps, ou peu après Palissy, il a été produit en France des œuvres en faïence fine extrêmement remarquables et malheureusement peu nombreuses. Nous ne connaissons rien de plus élégant que la coupe en faïence émaillée dite coupe de Henri II dont on vient de voir le dessin, et qui peut être considérée comme un des plus charmants produits de la renaissance. La forme en est d'une rare élégance, aussi bien que les ornements qui la décorent; remarquable au point de vue du goût. elle peut passer encore aujourd'hui comme un chef-d'œuvre en tant que difficulté de fabrication.

C'est à Nevers que se conserva la fabrication de la faïence émaillée; on y créa nombre de produits remarquables qui entrèrent dans les ameublements riches de l'époque.

STYLES LOUIS XIV ET LOUIS XV

La fabrication de la porcelaine tendre, espèce de verre opaque très-différent de la porcelaine dure telle que celle fabriquée en Chine, bien qu'obtenue en cherchant à imiter la porcelaine chinoise, jeta un grand éclat sous Louis XIV, et surtout sous Louis XV, où les produits prirent un caractère mieux déterminé; elle prit une place importante dans le style qui a gardé le nom de cette époque, et qu'on appelle quelquefois rocaille, Pompadour, régence, etc. L'ameublement alors à la mode se maria très-bien avec les vases décorés en bleu tendre, harmonieux du vieux Sèvres, vases ornés en général de peintures. Des figurines, des moulages de formes diverses, des médaillons couverts de peintures représentant toujours des bergers, des Amours, etc., vinrent même se placer merveilleusement dans diverses pièces de l'élégant mobilier de cette époque [1].

Nous en donnons ici pour exemple une pièce de ce genre, fort bien imitée, remarquée avec raison à l'Exposition de 1855, c'est-à-dire qui, par le goût de la peinture, l'agrément du fond bleu, possède le cachet traditionnel. Nous retrouverons les motifs de décoration lorsque nous étudierons plus loin les lignes des ornements de ce style en elles-mêmes, en dehors des applications.

Nous représenterons encore ici une horloge rocaille en style Louis XV, qui pourra donner quelque idée de ce style tel qu'on l'interprète de nos jours pour le genre de produits qui nous occupe, car jusqu'alors il ne s'était appliqué sous cette forme qu'à d'autres décorations, aux meubles par exemple.

Ce fut surtout en Allemagne, et notamment en Saxe, à Meissen, que la fabrication

travail opiniâtre et une énergique volonté. Sa devise, qui indique bien les efforts qu'il dut faire, était: « Povreté empêche les bons esprits de parvenir. » Il créa, comme nous l'avons dit, par ses efforts et son génie, une industrie complète dont les produits sont recherchés pour être l'ornement des collections publiques. Les travaux des émailleurs de Limoges lui furent certainement très-utiles, mais ce furent surtout sa persévérance et son génie qui lui firent atteindre le but qu'il s'était fixé.

[1] Plusieurs couleurs, mais surtout le bleu, acquièrent sur la porcelaine tendre un glacé, une demi-transparence, qui font, avec raison, rechercher le vieux Sèvres. Les effets sont beaucoup moins agréables sur la porcelaine dure chinoise.



de la porcelaine dure jeta un grand éclat, après que Bœttger y eut créé cette industrie



Vase Louis XV (vieux Sèvres)

et découvert que le kaolin était la matière première de la porcelaine dure[1]; mais



Pendule Louis XV de M. Jacob Petit

cette fabrication ne prit, comme industrie, un très-grand développement que dans la seconde moitié du XVIIIe siècle.

[1] La découverte du kaolin, matière première de la porcelaine chinoise, est assez curieuse pour

Sous Louis XVI, le mélange du bronze doré et de la porcelaine fut à la mode, et se retrouve dans quelques pièces assez caractéristiques du style qu'on nomme Louis XVI et qui s'imite encore quelquefois dans l'ornementation. Il était une réaction sur le style Louis XV, dont il était loin d'avoir la richesse, et tendait à le modifier par une sobriété plus grande d'ornements et l'introduction de quelques lignes sévères à l'aide desquelles on croyait se rapprocher de l'antique. Sans mériter une place spéciale. ce style doit cependant être cité.

STYLES ÉTRANGERS.

STYLE MAURESQUE.

La pâte des poteries mauresques, qui constituent une veritable faïence à émail stannifère, est grise ou jaune sale; c'est la même faïence que la majolica et la faïence à vernis plombeux, qui nous est très-probablement venue des Arabes. Cette similitude est complète par exemple pour les carreaux dont sont couverts les murs de l'Alhambra, et dans lesquels la netteté des contours, l'éclat des couleurs sont incomparables. Leur fabrication remonte à l'année 1280 et montre combien était avancée à cette époque l'industrie arabe, aussi bien que la civilisation de cette nation, dont le savoir brillait dans les célèbres écoles de Cordoue et de Grenade.

Les formes des vases mauresques, tant des parties principales que des accessoires, sont simples; elles proviennent du cylindre et du cône; quelques parties concaves à l'extérieur sont caractéristiques. Les ornements sont toujours des espèces de rubans enlacés, le plus souvent en relief, de la nature de ceux dont nous avons déjà parlé et qui ont le nom caractéristique « d'arabesques. » La forme des anses plates et larges est d'un genre tout particulier. On en jugera par le célèbre vase de l'Alhambra. extrêmement remarquable par son originalité et que nous reproduisons ici. La glaçure

que ouus devioos la raconter ici, et montrer cemmeot Bœttger, qui était passé de ses recherches d'alchimie à la fabricatien d'une polerie reuge, dite porcelaine rouge, sei-disant très-importante pour la preparatien de la « teioture d'or » à cause de sa résistance à de hautes températures, fut amené à l'impertante fabrication de la porcelaine dure identique avec celle fabriquée en Chine.

« En 1731, dit M. Klemm, Jean Schnew, un des plus riches maîtres de forges de l'Erzgebirgo, passant à cheval près d'Aue, remarqua que les pieds de son cheval s'enfençaient dans uoe terre blanche et melle dont il avait peine à se tirer. L'usage général de la poudro à peodrer en faisait alors un objet de cemmerce coosidérable. Schnew, négeciant calculateur, vit dans cette terre un meyen de remplacer la farine de fromeot pour cette fabricatieo ; il en emporta donc un échaotillon à Carlsfeld et en fit préparer de la peudre à poudrer qu'il vendit en grande quantité à Dresde, à Leipzig, Zittau, etc. Bœtiger en ayant, cemme les autres, fait peudrer sa perruque, remarqua que cette peussière blanche avait un peids ioaccoutumé ; il interrogea son valet de chambre sur l'érigine de sa poudre ; ayant appris qu'elle était terreuse, il l'essaya, et à sa grande jeie il s'aperçut qu'il avait enfin trouvé la matière longtemps cherchée qui sert de base à la poreelaine blanche. »

du fond est assez blanche; les ornements qui la recouvrent sont en bleu de deux tons,



Vase de l'Alhambra.

l'un plus foncé que l'autre, et d'une sorte d'or ou plutôt de ce lustre d'or souvent employé en Espagne et en Italie, et qui paraît venir des Arabes.

STYLE CHINOIS.

C'est des Chinois que nous viennent la porcelaine dure et les grès, c'est leur admirable fabrication qui a fourni à l'Europe ses plus précieux modèles. Les formes des vases chinois sont ovoïdes, allongées, étranglées. Les ornements dessinent des

méandres, des réseaux, des fleurs et des animaux fantastiques. Les couleurs sont très-variées. Jamais on ne trouve de perspective, presque jamais de teintes dégradées dans toutes les peintures décoratives des Chinois; ce sont leurs caractères distinctifs: la décoration est toujours produite par des teintes plates et des silhouettes auxquelles se marient avec éclat des couleurs brillantes, épaisses, et formant relief.

La fabrication si parfaite de la porcelaine est très-ancienne en Chine; elle nous



Grand vase chinois.



Vase chinois.

offre des modèles admirables par la grandeur des pièces, tels que celui que nous représentons ici, pour lesquelles les difficultés de cuisson, de modelage, etc., sont habilement surmontées. Nous donnerons encore ici un vase ayant une de ces formes « pansues, » comme dit M. Théophile Gautier, qu'affectionnent les Chinois. Il est curieux de remarquer que ces formes, tendant au sphéroïdal, se rapprochent de celles que la fabrication du verre produit avec une grande facilité. C'est même sur cette propriété qu'est fondé un amusement moderne par lequel on parvient à imiter très-passablement les vases chinois avec des vases de verre dans l'intérieur desquels on colle du papier convenablement colorié.

STYLE INDOU.

Les Indous ont une fabrication en pâte noire, avec des dessins clairs, des ornements et des palmes d'un genre tout particulier, quelquefois un pastillage blanc, qui mé-



Vase indou

rite l'attention. Leurs poteries ont un lustre qui leur donne l'apparence de pièces métalliques. Nous donnons un spécimen de ce style curieux, qui emploie fréquemment les formes dérivées de la forme sphérique.

ÉPOQUE MODERNE.

Depuis un siècle, les progrès des arts céramiques ont été merveilleux, tant par le développement de la fabrication de la porcelaine blanche, la plus parfaite de toutes

les poteries, que par suite des travaux des potiers anglais, de Wedgwood [1] notamment, le plus célèbre d'entre eux, dont les travaux sont postérieurs toutefois à la découverte faite par Bœttger (1706) des éléments de la porcelaine de la Chine.

Les Anglais ont su les premiers varier en raison du but à atteindre les éléments constitutifs des pâtes céramiques, ce qui leur a permis de faire les grès-cérames, les faïences de dureté diverse, les imitations étrusques, etc., en un mot, d'employer la pâte la plus convenable pour chaque nature de produits. De plus, Wedgwood, en prenant ses modèles dans des vases grecs apportés de Naples en Angleterre, et secondé par le célèbre Flaxmann, donna, dès l'origine du grand développement de cette industrie, à la majeure partie des poteries usuelles d'Angleterre, une grande élégance empruntée à l'art antique et surtout à l'art grec. Aussi s'efforça-t-on longtemps sur le continent d'imiter ses modèles et doit-on reconnaître son influence sur les progrès accomplis dans les arts céramiques depuis le commencement du siècle.

La fabrication de la porcelaine dure, à l'imitation de l'admirable industrie qui existait en Chine depuis si longtemps, et dont la matière première a été si heureusement découverte en France, a été un immense progrès. Son éclat, sa résistance aux acides, au frottement, aux rayures, en font la première de toutes les poteries, et le développement de sa production en Saxe et en France ne sauraient trop être rappelés. Toutefois, si l'éclat de son émail, d'une admirable blancheur, est incomparable, on sent, dans les formes obtenues par les procédés habituellement employés, que la pâte n'a pas la plasticité de celle qui sert à la faïence; elle se prête mal à la confection de pièces devant avoir le moelleux de la faïence, quand on s'écarte d'un style un peu sévère, de la correction géométrique. Il faut souvent employer tous les artifices de la fabrication, abandonner fréquemment l'outil principal de la Céramique, le tour, pour recourir au moulage. Même dans son mode de recevoir des couleurs, elle est quelquefois imparfaite, inférieure notamment au composé improprement appelé porcelaine tendre de Sèvres pour les bleus.

Au reste l'art de nos fabricants n'est plus arrêté par les difficultés des procédés techniques, pas plus dans l'exécution des formes les plus compliquées que dans la composition pour tous les cas possibles de pâtes particulières qui jouissent des propriétés cherchées, en modifiant avec de grands frais, il est vrai, le plus souvent, leurs procédés de fabrication.

Il suffit, pour le prouver, de voir quelques pièces hors ligne; ainsi nous rappellerons quelques-uns des grands vases ayant les formes les plus élégantes de la statuaire, et décorés de tout l'éclat des couleurs par des émaux (qui font la raison pour ces pièces d'être en porcelaine plutôt qu'en marbre), que fabrique la manufacture de Sèvres [2].

[1] Wedgwood, né en 1730 à Burslom, a donné une immense impulsion à la fabrication des poteries en Angleterre, et son nom est, à juste titre, associé à celui des grands hommes qui ont fondé la prospérité de ce grand pays, Watt, Arkwright, etc.

[2] Sèvres, dont nous rencontrons le nom, a singulièrement contribué à maintenir presque au rang des beaux-arts la Céramique, en permettant, sous l'influence de ses savants directeurs, M. Brongniart et notre si regrettable ami Ebelmen, la fabrication de produits qui n'eût pu être tentée au point de vue de l'exploitation commerciale; les tableaux sur porcelaine notamment, exécutés avec une perfection comparable à celle de la peinture à l'huile, ont fait la réputation de l'établissement et des artistes, MMmes Jacotot et Ducluzeau, MM. Jacobber, Schilt, J. T. Robert. La fabrication de la poterie

Nous reviendrons sur les formes des vases en traitant plus loin de la sculpture. Mais nous dirons tout de suite que nous ne croyons pas en principe qu'une matière qui ne peut pas se ciseler, qui se déforme toujours quelque peu au feu, puisse être considérée comme comparable pour la statuaire au marbre et au bronze; aussi ne sommes-nous pas partisans de ces pièces quand, par leurs formes et leur ressemblance avec les produits de la sculpture, elles n'ont pour mérite principal que la difficulté vaincue. Il en est de même pour les tableaux sur porcelaine qui veulent lutter avec la peinture à l'huile. Faire de l'art en employant des procédés qui multiplient les difficultés et rendent des effets artistiques incomplets, c'est faire des tours de force, mais non de l'industrie.

Revenons maintenant à l'indication des types les plus heureux admirés aux expositions de Londres et de Paris.

1° Les terres cuites sans émail sont devenues, surtout entre les mains de M. Follet



Vase en terre cuite.

est trop complexe, exige des moyens de fabrication trop coûteux, pour qu'un artiste isolé puisse se livrer, à l'aide de ses propres ressources, à la production d'un objet d'art. C'est là la seule base (fort discutable) de l'utilité de la fabrique de Sèvres, qui doit être considérée surtout comme l'atelier public des artistes en art céramique

de Paris, de charmantes productions notamment pour contenir des fleurs, pour les suspendre dans les appartements, les serres. Le dessin qui précède offre un échantillon de ces élégants lustres à fleurs.

Un emploi curieux de la terre cuite, depuis longtemps apprécié dans les pays méridionaux, en Italie surtout, où la gelée ne vient pas l'hiver exercer son action destructive, est celui qui est fait notamment par M. Virebent de Toulouse pour remplacer la sculpture décorative. La cathédrale d'Alby a été réparée par ce procédé avec une économie très-grande et d'une manière très-satisfaisante. Ces messieurs ont exposé une façade d'entrée, en terre cuite, d'une chapelle style roman (si propre aux constructions de dimensions restreintes, telles que chapelles funéraires, etc.), ornée d'un grand nombre de statues, d'une excellente exécution.

2° Grès-cérames.—Les grès ont formé une des bases de la magnifique fabrication du célèbre Wedgwood. Rien de plus élégant que les formes qu'il sut leur donner et qui leur ont valu une supériorité parfaitement méritée. Aussi a-t-on cherché à les imiter dans toute l'Europe.

Nous donnerons ici comme exemple de cette fabrication une pièce ornée d'ornements en terre blanche sur fond bleu.



Grès de Wedgwood.

M. Ziégler a essayé en France une fabrication artistique de grès bruns qui a joui d'une certaine célébrité, grâce aux formes élégantes qu'il a su leur donner. Nous

représentons un de ces produits inspiré évidemment par le style mauresque heureusement employé.



Grès du Voisinlieu de M. Ziegler.

3° Parian. — Nous avons dit que les applications de la Céramique à la statuaire ne nous paraissaient pas, en général, très-désirables. C'est surtout la dureté résultant des matières peu plastiques qui nous cause cette impression, qui ne saurait s'appliquer aux compositions en terre cuite de quelques artistes, et surtout de Clodion, qui a fait au siècle dernier, de charmantes productions en ce genre, très-appréciées des amateurs, et qui, moulées en bronze, ont eu un grand succès à cause du sentiment exquis avec lequel cet artiste savait faire valoir des sujets de petite dimension.

Bien que tous les sculpteurs exécutent en argile leurs premiers modèles, bien peu les finissent avec soin, y attachent assez d'importance pour en assurer de la durée à l'aide de la chaleur. Il n'existe de remarquable dans ce genre que les œuvres en biscuit, c'est-à-dire en porcelaine sans couverte, qui, malgré le mérite de plusieurs de ces productions, et leur popularité sous Louis XV et Louis XVI, nous paraissent avoir les inconvénients que nous avons signalés.

Les fabricants anglais, et surtout MM. Copeland et Minton, ont remédié à l'aspect un peu dur du biscuit blanc de porcelaine en composant une pâte phosphatique dite Parian ou de Paros, qui convient admirablement pour les statuettes. Cette pâte, dans laquelle entre du phosphate de chaux, base principale des os, a quelque chose du reflet jaune, de l'aspect gras de l'ivoire, de l'os. Elle est plus artistique que le biscuit de porcelaine dont le reflet blanc et dur sent la pierre et ne convient pas si bien pour représenter le corps humain.

4° Fleurs en porcelaine et figurines colorées. — Les figurines colorées ont fait

longtemps la réputation de la fabrique de Meissen en Saxe, la première qui ait fait de la porcelaine dure, grâce aux travaux de Tchirnaüs et de Bœttger qui en furent les fondateurs. Nous donnerons à ce sujet le passage que M. Brongniart a consacré à ces produits dans son « Traité des Arts céramiques, » note curieuse qui montre la conscience que ce savant vieillard apportait dans ses jugements en matière d'art, et est l'expression naïve de la difficulté qui se rencontre à ne pas se tromper dans ces matières.

« Il me paraît difficile, dit-il, pour ne pas dire impossible, d'établir maintenant ce qui est de bon ou de mauvais goût, car j'ai vu appliquer, suivant les temps, chacune de ces épithètes au même objet, par la majorité non-seulement des personnes dont l'opinion sur ces matières mérite une grande considération, mais aussi par des artistes reconnus pour des hommes de talent; je suis donc réduit à ne pouvoir apprécier les productions des arts d'ornements, qu'en émettant ma propre opinion ou l'opinion dominante d'une époque, c'est-à-dire celle de la mode. Or, suivant mon opinion, les figures isolées ou groupées de la manufacture de Saxe sont d'un mauvais goût, d'un mauvais style,... etc. »

M. Brongniart ne parle ici que de Meissen, mais il est clair que tous les produits du même genre sont peu goûtés par lui. Le biscuit blanc de Sèvres était le seul qu'il admit pour les figurines. Comme lui, nous estimons peu ces colorations, ces imitations de fleurs toujours imparfaites.

5° Pièces en porcelaine.—Il nous reste à traiter la question la plus importante : quelles formes tend-on à donner aux pièces dignes d'être remarquées que produit la Céramique à notre époque ?

Nous laisserons de côté toutes les imitations des styles anciens ou étrangers que les progrès techniques permettent d'obtenir; les imitations des pièces étrusques, mauresques, chinoises surtout, dont la fabrication forme une industrie importante, à cause du mérite justement apprécié des productions du Céleste Empire; c'est le cachet propre de la puissance de l'industrie moderne que de reproduire tous les styles antérieurs. Nous ne parlerons pas non plus des produits curieux dus aux progrès des procédés techniques; telles sont les tasses d'une extrême légèreté obtenues grâce au procédé de moulage à l'aide du plâtre desséché. Les pièces dites coquilles d'œuf, qu'il est possible d'obtenir ainsi, n'ont qu'une épaisseur tellement minime, qu'il serait complétement impossible de les fabriquer sur le tour.

Les genres les plus appréciés des pièces modernes peuvent se réduire à deux principaux.

Le premier se rattache plutôt au mauresque qu'à tout autre style; ses caractères essentiels consistent dans l'emploi des couleurs à tons francs, des dorures, des enlacements découpés à jour. Les couleurs à grand feu, telles que celles justement célèbres de MM. Disery et Talmours, constituent un progrès important accompli dans cette voie quant à la décoration. Nous donnons ici la pièce du milieu d'un beau service de table mis à l'Exposition par M. Honoré, un de nos premiers fabricants, et qui, comme les jolies pièces orientales de forme sphérique de M. Copeland, un des premiers fabricants anglais, nous paraît bien indiquer le genre dont nous parlons. Nous reviendrons sur ces dernières en traitant des décorations.

Les formes employées par les Allemands dans la céramique, mais surtout dans la

verrerie, procèdent également du style oriental, plus encore que celles adoptées par les Français et les Anglais.



Porcelaine de M. Honoré.

Le second est celui que nous appellerons de Sèvres, parce qu'il rappelle les plus



Vase de Sèvres

Potiche de Sèvres

belles pièces sorties de cet établissement; c'est le moins industriel, le moins propre

à la fabrication courante. Les formes sont le plus souvent ovoïdes, les couleurs sont quelquefois des couleurs au grand feu rehaussées d'émaux; mais le plus souvent le fond reste blanc éclatant pour être couvert de couleurs dégradées, de peintures fines d'une grande délicatesse représentant des fleurs, des oiseaux, etc., plus voisines de la nature, plus sévères que les décorations du vieux Sèvres. Nous donnons ici un élégant vase de la fabrique de Sèvres, de forme ovoïde allongée, garni d'anses en bronze et aussi couvert de peintures délicates d'un grand charme. L'exagération de ce système, qui fait de chaque assiette de Sèvres un objet d'art de grande valeur, en empêche la propagation, mais n'en amoindrit pas le mérite.

La fabrique de Sèvres a mis à l'Exposition de Londres et à celle de Paris bien des pièces remarquables dont nous n'avons à parler ici qu'au point de vue des formes, réservant pour la section où nous traiterons des applications de la peinture la question des décorations par coloration, nous citerons :

Une potiche forme chinoise, heureusement modifiée, rendue plus légère par l'allongement de la partie supérieure.

Des fonts baptismaux, style byzantin, pièce remarquable par ses dimensions et la variété de ses décorations



Fonts baptismaux, style bizantin

Nous citerons en terminant comme pièces élégantes, destinées au luxe des ameublements coquets, les coupes et lampes montées en bronze doré, œuvres qui appartiennent autant aux bronzes qu'à la porcelaine.

VERRERIE

Dû aux Phéniciens, d'après la tradition, l'art de fabriquer le verre fut cultivé avec succès dans l'ancienne Égypte. Les poteries qu'on a retrouvées montrent, autant que les verres, que les Égyptiens avaient poussé fort loin la science des émaux, des vitrifications de tout genre.

Les Romains ne connurent guère l'art de la verrerie que lors de leurs conquêtes en Asie, peu avant l'Empire. Vers cette époque, une foule d'ouvriers de tout genre d'industries affluèrent à Rome, venant les uns d'Égypte, les autres de la Grèce; ils apportèrent avec eux les secrets des arts de luxe, peu connus des Romains de la République. Dès ce moment on sut, à Rome, dorer, ciseler, colorer le verre. Néron encouragea beaucoup cet art, et paya de sommes considérables de belles coupes de verre. Le vase dit de Portland, aujourd'hui à Londres, donne idée du haut degré de perfection que ce genre de produits avait atteint sous le règne des empereurs romains.

L'art de la verrerie fleurit de bonne heure en Italie et paraît s'être fixé de bonne heure à Venise, dont les anciens ouvrages en verre ont beaucoup d'analogie avec ce qui a été retrouvé des produits des verreries antiques. On connaît la célébrité des glaces de Venise, ainsi que des verres d'apparence diverse qui y étaient fabriqués. Murano était le lieu de cette fabrication qui fournissait à Venise de précieux moyens d'échange pour son commerce avec l'Asie, source de ses richesses. Aussi, jaloux de conserver le monopole de cette industrie, le gouvernement de la République soumit-il les verriers à des règles sévères, mais en même temps leur donna de nombreux privilèges pour encourager leur profession.

Lorsqu'après plusieurs siècles de prospérité, Venise vit décroître son commerce par suite des nouvelles routes ouvertes vers la Chine et l'Inde par le cap de Bonne-Espérance, et que l'esprit de commerce pénétra les nations rivales, les procédés de

l'art de la verrerie passèrent de l'Italie dans le reste de l'Europe et surtout en Bohême, où il s'est en quelque sorte nationalisé, où les progrès se sont succédé sans interruption. Pendant quelque temps ce pays sut, grâce à l'habileté de ses ouvriers, reconstituer en quelque sorte à son bénéfice le monopole dont avait joui Venise.

La fabrication des glaces introduite en France grâce aux efforts de Colbert et à l'aide d'ouvriers vénitiens, y a vu réaliser un grand progrès qui a transformé les décorations intérieures. Nous voulons parler des glaces coulées par le procédé dû à Abraham Thévart, et qui, obtenues en très-grandes dimensions, ont pu jouer un tout autre rôle dans la décoration des appartements, pour multiplier les lumières, que les petits miroirs de Venise.

Fabriqué à l'aide de l'insufflation, le verre prend naturellement la forme sphérique; c'est par des artifices de fabrication, des déformations par allongements cylindriques de cette forme sphérique, que s'obtiennent les figures variées des verres qui, à cause de la similitude de leur nature, doivent être étudiés en même temps que les produits céramiques.

La découverte du cristal, ou plutôt la modification apportée au verre de Bohême, en faisant entrer dans sa composition du minium pour en augmenter la fusibilité, fournit la base d'une fabrication d'abord prospère en Angleterre, puis introduite avec succès en France, où la verrerie avait toujours été considérée comme un art, où les gentilshommes verriers avaient toujours joui de grands privilèges; les procédés particuliers employés pour travailler le cristal, le moulage et la taille à l'aide des meules de grès, ont permis d'obtenir des produits de la plus grande richesse, des formes artistiques auxquelles les jeux de lumière donnent un éclat admirable. Il n'est certes pas de matériaux plus éclatants pour la décoration que le cristal, qui multiplie à l'infini la lumière. Aussi les cristaux sont-ils aujourd'hui le premier article de luxe des tables riches.

La coloration des cristaux accrut encore le nombre des effets qu'il est possible d'obtenir.

Ainsi, au moyen de verres convenablement colorés par des oxydes métalliques de cobalt, de manganèse, l'or divisé, etc., on a pu obtenir non-seulement des pièces d'un aspect agréable, mais reproduire, en en imitant aussi les formes, des fac-simile de poteries égyptiennes et étrusques, imiter parfaitement la malachite, l'agate et les terres antiques. Si, au lieu de colorer le verre tout entier, on enduit le cristal blanc de verre coloré, on obtiendra par la taille, qui enlèvera par places cet autre verre de peu d'épaisseur, des effets très-remarquables. C'est le procédé le plus fréquemment employé aujourd'hui.

Les cristaux opaques ou opalins jouent un grand rôle dans la fabrication artistique. Ils s'obtiennent en France par l'addition de phosphate de chaux; en Bohême, en ajoutant à la masse fondue du verre pulvérisé et travaillant le mélange à basse température. Le verre opalin coloré en vert est devenu fort à la mode dans ces dernières années; on lui a donné le nom de chrysoprace.

Passons aux styles divers qui viennent se traduire dans des œuvres de goût des temps modernes, grâce à la variété des procédés de fabrication, de moulage, de décoration.

Nous mentionnerons ici, comme échantillon de fabrication ancienne, les verres de

Venise du musée de Cluny, dont les formes nous paraissent les plus remarquables.



Verres de Venise.

Nous traiterons plus loin de l'emploi des verres colorés pour vitraux, qui ont formé un élément de décoration si important des cathédrales au moyen âge, mais dont il n'y a pas lieu de parler encore, puisque nous nous occupons ici spécialement des formes.

Quant aux produits modernes, nous distinguerons :

1° La verrerie, la gobletterie de luxe, qui se distingue par sa légèreté, par ses formes capricieuses, l'élégance des formes obtenues par le moulage et la taille et qui résulte en général d'oppositions entre les parties larges qui contiennent les liquides et les supports minces; ce genre de produits a évidemment sa tradition dans les verres de Venise. Les verres mousseline d'une extrême légèreté, trop délicats pour être taillés à facettes, gravés et ornés seulement de dessins mats, sont de charmants produits.

Les cristaux blancs sont le plus souvent taillés en pointes de diamant qui charment par les jeux de la lumière que réfléchissent mille facettes. L'Exposition anglaise offre sous ce rapport de très-belles pièces.

2° Les cristaux colorés, nécessairement (en fabrication courante) en teintes unies, en couleurs que la transparence rend éclatantes, souvent rehaussées d'or, et qui ont par suite une tendance au style oriental, qui affectionne ces couleurs.

Nous donnerons ici un verre à fleurs, coloré en rouge, de forme orientale, fabrication de Bohême (Exposition de Londres)[1]. La Bohême a mis à Paris, indépen-

[1] Nous dirons ici un mot de cette industrie de la Bohême, que nous ne saurions mieux comparer qu'à notre industrie lyonnaise de la soie. Là, comme à Lyon, une nombreuse population est livrée exclusivement à une seule industrie; tout le monde s'en occupe, coopère à des progrès qui se répandent avec la rapidité de l'éclair. La division du travail y est poussée très-loin, et chaque ouvrier y trouve la spécialité qui convient à son intelligence. Aussi, si la valeur artistique des produits ne s'élève peut-être pas très-haut, le nombre des pièces curieuses est infini, et certaines fabrications, la lustrerie, par exemple, s'y font à un bon marché incroyable, auquel les grandes fabriques ne peuvent atteindre.

damment de ses cristaux colorés, dorés, etc., des verres craquelés, arrêtés en quelque sorte dans leur cristallisation, fort curieux.



Verre de Bohême

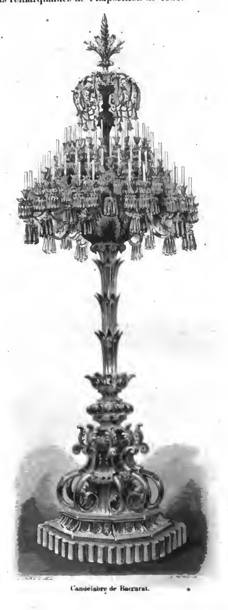
Parmi les produits nouveaux on doit remarquer les lustres mis par MM. Spinn et Heckert de Berlin à l'Exposition de 1855. Ils sont formés de fleurs de volubilis en porcelaine ou verre opaque qui doivent recevoir les bougies, et de feuilles en cristal vert à côtes dorées qui sortent des enroulements des tiges. La monture est en bronze doré.

Ces lustres sont certes peu en rapport avec l'ornementation habituelle de nos appartements; mais dans un bal, où les fleurs sont prodiguées, ces feuilles et ces fleurs éclatantes de lumière doivent être d'un heureux effet.

Nous citerons pour mémoire les colorations à la moufle sur verre, analogues à la peinture sur porcelaine, qui offrent beaucoup de difficultés et donnent avec la transparence particulière au verre des effets de même nature que ceux qu'on obtient sur des poteries. Les déchets de fabrication sont assez considérables et les difficultés trop grandes pour que ce procédé prenne un bien grand développement.

3° Enfin, la fabrication en cristal blanc, dont l'éclat est si grand aux lumières, ne se borne pas aux petites pièces dont nous avons parlé plus haut. On produit avec cette belle substance des effets artistiques d'un ordre élevé et tout particulier; car, comme les pierres précieuses, elle offre la condition spéciale de décomposer et de multiplier la lumière au lieu de la réfléchir simplement. Nous donnons ici un beau spécimen de l'Exposition de 1855, le candélabre de Baccarat, de 5m,25 de hauteur, qui, comme goût, nous semble une des plus heureuses œuvres exécutées en cette belle substance. Dans ce candélabre le cristal qui reflète et décompose la lumière s'élève et s'épanouit

avec une richesse et une élégance incomparables. Cette pièce restera, nous le pensons, comme une des plus remarquables de l'Exposition de 1855.



Candelabre de Baccarat.



SECTION III.

MEUBLES, ÉBÉNISTERIE

L'étude des meubles, du mobilier, doit suivre immédiatement celle de l'architecture, non-seulement parce que les divers objets dont nous avons à parler sont destinés à prendre place dans les salles que produit l'architecture, et par suite doivent, avant tout, se trouver en rapport avec la forme, la disposition des édifices, des pièces pour lesquels ils sont créés; mais encore parce que les meubles sont de véritables constructions obtenues à l'aide d'assemblages qui donnent à leur charpente une forme rectangulaire, que leur élégance, le charme de leurs lignes est surtout le résultat d'harmonies de même nature que celles qui charment dans les monuments, et que leurs formes sont inspirées par le même goût qui, à une époque déterminée, fait construire les édifices; qu'ils sont la représentation des mêmes mœurs.

Le bois est, par excellence, la matière convenable pour la fabrication des meubles, et les métaux, souvent employés pour des meubles de peu de prix, ne peuvent le remplacer; le froid du métal contraste désagréablement avec le toucher agréable du bois poli.

Indépendamment de la beauté des teintes et des veinures des bois employés par l'ébénisterie, de l'éclat qu'ils acquièrent étant polis, et dont l'industrie vulgarise l'usage en en abaissant les prix de revient par le placage, le grand mérite du bois pour la fabrication des meubles résulte de la facilité avec lequel on peut le travailler, de l'élégance des formes qu'on peut lui donner par un travail modéré.

Les différentes manières de façonner le bois suivant des formes voulues, les moyens de production ont nécessairement une relation intime avec les formes décoratives qui sont le plus employées. Nous distinguerons :

Le travail à l'aide de la scie et du rabot, qui permet d'obtenir toutes les surfaces à génératrices rectilignes, toutes les moulures analogues à la majeure partie de celles de l'architecture;

Le tour, qui sert à obtenir toutes les formes cylindriques ou coniques;

Enfin le ciseau, qui, dans les mains du sculpteur, crée toutes les formes de fantaisie, vient ajouter toutes les ressources de la sculpture décorative, de l'imitation des formes de la nature animée à celles déjà obtenues presque forcément en satisfaisant aux conditions générales de la construction: C'est sous cette forme que l'art vient surtout se mêler à la fabrication des meubles. Les ressources de la sculpture sur bois sont trop grandes pour qu'on puisse appliquer à la fabrication des meubles les observations que nous avons faites à propos de la céramique sur le peu de convenance des imitations de sujets animés; et, sous ce rapport, l'étude que nous poursuivons ici devra trouver son complément dans le chapitre suivant, consacré à la sculpture, qui tient une si grande place dans l'ébénisterie.

Nous établirons tout de suite le principe de l'emploi de la sculpture, c'est-à-dire de la forme que revêt le plus souvent l'art pur appliqué à la fabrication des meubles. Nous dirons donc que, quelque convenable que soit la sculpture appliquée à la décoration des meubles, elle ne doit pas être prodiguée mal à propos, c'est-à-dire placée de manière à faire disparaître les lignes gracieuses d'un meuble, le profil harmonieux qui doit former le caractère principal, essentiel, de ces petites constructions. De plus la sculpture ne doit jamais gêner la convenance, qui exige que le meuble se prête facilement à l'usage auquel il doit servir. Enfin, comme dans tout produit qui relève de l'art industriel, il faut que l'idée qui préside à la conception de l'œuvre se trouve en harmonie avec le but auquel celle-ci est destinée.

Ce que nous disons de la sculpture est également vrai du mélange du bois avec le bronze, la porcelaine, la mosaïque, etc., et en général de tous les moyens de décoration étrangers à la construction du meuble proprement dit.

Ces principes vont trouver leur application dans l'étude des produits des diverses époques que nous allons esquisser. Malheureusement, les produits de cet art plus périssables que ceux des sections précédentes nous sont parvenus des époques reculées, en bien moindre nombre, ce qui diminue l'intérêt de cette étude. Ce n'est, en général, pour les siècles passés, que par les bas-reliefs, les sculptures, que nous pouvons reconnaître les formes des meubles employés dans les civilisations antiques.

STYLE ÉGYPTIEN.

Les monuments égyptiens portent gravés sur les murailles une foule de scènes, et, par suite, différentes formes de meubles. Des enveloppes de momies, diverses boîtes parvenues jusqu'à nous, nous montrent que les œuvres en bois de l'ancienne Égypte méritent un intérêt réel.

La première figure montre un tabouret dont la décoration est de bon goût; la dernière reproduit le fauteuil de Rhamsès.

Enfin la seconde montre la décoration vraiment très-élégante d'une boîte à com-

partiments dont le dessin est, comme les précédents, emprunté à l'ouvrage de Wil-



Tabouret egyptien

Boite egyptienne.

kinson sur les antiquités de l'Egypte. Elle rappelle assez le style grec pour qu'on



Fauteuil de Rhamsès.

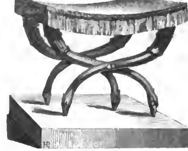
puisse supposer, avec toute apparence de raison, qu'elle provient de l'époque des Ptolémées.

STYLE GREC, ROMAIN.

Les anciens ne connaissaient qu'un petit nombre de meubles, et ce n'est que par

les sculptures que nous pouvons retrouver quelques indications des formes d'objets qui se rapportent plus souvent aux représentations publiques qu'à la vie privée. Les Grecs avaient reçu quelques traditions de l'Asie, et les transmirent aux Romains après leur avoir sûrement imprimé ce cachet d'élégance qui appartenait à toutes leurs productions.

Nous donnons ici un dessin du siége du preteur, qui se retrouve dans beaucoup de



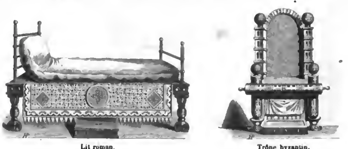
Siége de Preteur romain.

sculptures romaines. Il appartient bien plus à la Rome ancienne que le lit, évidemment d'origine asiatique, qu'adoptèrent les Romains de la décadence dans leurs fêtes et leurs orgies

STYLE ROMAN.

Nous avons quelques pièces de mobilier, ou plutôt quelques dessins de l'époque où se construisaient les églises de style roman. Les meubles se sentent du goût dominant, et du peu de luxe qui régnait à l'intérieur des habitations.

Nous donnerons deux motifs tirés l'un d'un manuscrit intitulé « Hortus Deliciarum, »



Lit roman. Trône byzantin.

de Herrade de Lansberg, abbesse de Sainte-Odille, conservé à Strasbourg, et l'autre

dessiné d'après une miniature d'un manuscrit du xe siècle (dû à un moine de l'abbaye de Saint-Martial à Limoges), le trône byzantin de Théodose le Grand présidant un synode à Constantinople.

STYLE GOTHIQUE OGIVAL.

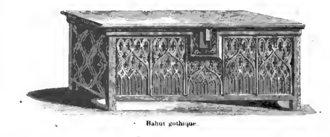
Lorsque la sculpture sur pierre prit l'essor que nous manifestent les travaux si variés des cathédrales, elle entraîna dans son mouvement de progrès la sculpture sur bois chargée de la décoration des intérieurs, de l'exécution des stalles du chœur, etc. Il est resté, dans nombre d'anciennes églises, des sculptures, des chaires à prêcher qui sont admirables; car, comme la sculpture sur pierre, la sculpture sur bois ne produisait guère que pour l'ornement des églises, ne se détachait pas plus qu'elle de l'architecture. Nous aurons à étudier cette question en traitant plus spécialement de la sculpture dans la section suivante. Nous nous contenterons de dire dès à présent que les créations de la sculpture sur bois ne sont en général que des réductions des constructions de l'architecture; elles rappellent presque toujours les clochers, les flèches des églises, et par la profusion, la répétition de ces éléments, cet art a produit des œuvres d'une grande légèreté et d'une grande richesse.



Chaire gothique.

Aux XIIIe, XIVe et XVe siècles, la « hucherie » était tenue en grand honneur. Les cor-

porations des huchiers étaient nombreuses, et d'importants travaux leur étaient confiés. Les imitations de ces anciennes œuvres forment l'objet de travaux assez importants de nos jours, quelquefois pour des mobiliers de particuliers, mais surtout pour garnir les églises gothiques, pour les chaires à prêcher, etc.



Bahut gothique.

Nous donnons ici comme exemples un fauteuil à dais, dit chaire, et un bahut, empruntés tous deux au musée de Cluny

STYLE RENAISSANCE.

C'est à l'époque de la Renaissance, lorsque l'architecture cessa d'être exclusivement religieuse, lorsque l'art vint s'épanouir dans toutes les directions, que la construction des meubles devint vraiment œuvre de goût. Toute la fantaisie de l'artiste vint se concentrer sur de gracieuses combinaisons dans lesquelles bien des éléments de l'architecture de l'époque trouvent souvent à s'appliquer, mais variés à l'infini avec un sentiment parfait de la différence qui existe entre le travail du bois et celui de la pierre. C'est ce qu'on voit dans quelques curieux recueils de gravures de l'époque qui sont utilisés souvent par les artistes de nos jours, où par exemple les motifs des colonnes employées par l'ébénisterie sont indiqués comme des variations de celles de l'architecture; variations exécutées avec une fécondité d'imagination vraiment admirable.

La sculpture sur bois appliquée aux meubles se tint au niveau de la sculpture sur pierre et, comme l'orfèvrerie, le bronze, fit partie des beaux-arts; la division entre ceux-ci et l'industrie n'existait pas pour les artistes qui combinaient les chefs-d'œuvre qui ornent nos musées. Aussi trouve-t-on souvent dans les meubles de cette époque des statuettes, véritables œuvres d'art qui démontrent l'intervention d'artistes distingués. La Renaissance montra bien, dans le mobilier comme dans toutes les autres productions, comment l'art vient remplacer l'industrie aux époques de richesse; effet sensible surtout lorsqu'une population artiste très-nombreuse se livre à un genre de production qu'un travail intelligent peut créer rapidement, tel que la sculpture sur bois. Nous verrons qu'heureusement cette position est celle de la France à notre époque.

Nous dirons, au sujet de la sculpture sur bois, dont l'emploi forme le caractère essentiel des produits de la Renaissance, que, pouvant être prise dans les éléments même du meuble, elle a quelque chose de plus logique que les émaux incrustés, les pièces rapportées, en bronze par exemple, que nous trouverons employés plus fréquemment dans les styles suivants, et qui, en général, ne contribuent en rien à la solidité du meuble. Remarquons toutefois que, les fonds de la sculpture ne pouvant être polis comme les parties plates des meubles, étant toujours mats, les pièces trop garnies de sculptures n'ont jamais un grand éclat.

C'est surtout l'ébène qui était le bois préféré pour les plus belles pièces de cette époque : après ce bois c'est le chêne qui se rencontre le plus souvent. On donnait avec raison, pour le genre de décoration adopté, la préférence à un bois uni sur celui figurant des dessins, des nœuds qui distraient du sentiment des lignes.

Nous prendrons pour exemples parmi tant d'œuvres du style Renaissance qui pourraient être utilement reproduites ici, le meuble dit cabinet, du temps de Henri II, qui



Cabinet de Henri II.

se voit au Louvre, magnifique ouvrage en ébène, et un charmant meuble dit coffre de mariage, du musée de Cluny.

Si l'on cherche à analyser les principaux caractères des éléments que permet de préciser la vue des beaux meubles de la Renaissance, et d'autres de l'époque actuelle que nous reproduisons plus loin et qui sont évidemment inspirés par les œuvres de cette époque, on distinguera : l'emploi fréquent de colonnes torses, cannelées, sculptées ou plutôt gravées de manière à représenter d'élégants ornements. Dans les lignes générales, souvent chargées de parties tourmentées qui n'en détruisent pas l'harmonie, on sent l'influence de l'architecture de ce siècle, notamment dans les

frontons arrondis et coupés, placés fréquemment à la partie supérieure des meubles,



Coffre de mariage.

enfin celle de la sculpture si avancée alors se retrouve dans la disposition des statuettes de formes gracieuses dont l'exécution n'effrayait pas les artistes.

Le mélange d'émaux, de lapis, pour décoration, se rencontre dans des meubles d'un goût un peu particulier faits à Venise et qui sont dits de style vénitien. Nous verrons que dans l'orfèvrerie il se reproduit une division du même genre, due au goût propre à la riche aristocratie de cette république, mais surtout aux éléments orientaux qui se sont infiltrés dans toutes les créations de son industrie, résultat de son commerce actif avec l'Orient

STYLE LOUIS XIV

Sous Louis XIV, le mobilier s'éleva à un haut degré de perfection et de richesse. La pompe et le faste affichés partout durent se traduire dans l'ameublement. Les sièges, vastes et recouverts de riches tapisseries, vinrent orner des salles dont les murailles étaient garnies de meubles dont les surfaces étaient enrichies d'incrustations en cuivre jaune ou en ivoire qui appartiennent tout particulièrement à ce style et sont d'une richesse de dessin admirable. Celui-ci rappelle les arabesques les plus variées, multiplie des combinaisons d'un caractère spécial à ce style dont nous parlerons plus loin. Le célèbre Boule [1] s'illustra par une foule de créations qui sont encore des.

[1] Boule fut l'ébéniste par excellence de cette époque. Il travailla aux Gobelins, consacrés par Louis XIV à l'exécution complète des mobiliers, tant ébénisterie que tapisserie, et mit sous la haute direction du célèbre peintre Lebrun, dont les tableaux indiquent bien le genre d'impulsion qu'il dût donner à ces produits, ses idées de grandeur fastueuse. Les meubles des palais furent exécutés de toutes pièces dans cette manufacture royale, qui remplissait le rôle que Sèvres remplit aujourd'hui pour la céramique. Les progrès de l'ébénisterie française montrent qu'elle n'a plus eu besoin, pour aider à ses progrès, d'une semblable concurrence.

modèles précieux pour le mobilier de grande richesse. Ses œuvres et celles de Riesner ont fait, pendant un siècle, l'ornement du palais de Versailles et des habitations des premiers personnages de l'Europe. Dans ce style toutes les fantaisies, toutes les arabesques les plus capricieuses, furent reproduites avec éclat au moyen du cuivre, de l'argent, du brillant de l'ivoire, par des incrustations sur des fonds d'ébène, d'écaille. Les riches panneaux ainsi formés sont en général rehaussés par des reliefs en bronze doré qui décorent magnifiquement des meubles dont la forme, peut-être un peu lourde quelquefois, est toujours pleine d'ampleur et d'une grande richesse.

L'écaille, les bois dont les fibres forment de riches dessins, peuvent sans inconvénient être employés avec la marqueterie dont les lignes dominent toute autre ligne, qui ne fait qu'accroître la richesse du dessin. Il faut toutefois que leur teinte soit assez foncée et leur éclat assez grand pour faire valoir les incrustations quand celles-ci sont en métal.



Meuble de Boule.

Nous donnons ici un meuble de Boule recouvert d'incrustations et orné de bronzes



Coffret imitation de Boule.

dorés, les deux caractères principaux de ce style, et aussi un coffret qui n'est qu'une

imitation de Boule, mis par M. Vervelle de Paris à l'Exposition de 1844, et qui nous paraît avoir été exécuté avec un sentiment parfait du genre de ce maître.

STYLE LOUIS XV.

Riche, mais un peu froid, sous Louis XIV, le mobilier prit sous Louis XV des formes en harmonie avec l'élégance des toilettes des femmes, et à la recherche de la majesté et de l'apparat succéda celle de la grâce et de la commodité personnelles. Les créations de cette époque ont atteint, dans l'ameublement, un degré d'élégance qu'il importe de noter; les enroulements prodigués à l'infini se prêtant à toutes les combinaisons de la fantaisie, les feuilles, les fleurs sculptées, les coquilles vinrent en accroître les ressources. Elles constituent une des plus heureuses applications de ce style Louis XV, dit Pompadour ou quelquefois rococo, genre d'une coquetterie charmante, d'une grâce de formes toute féminine, et qui convient parfaitement pour des meubles destinés à trouver place dans le boudoir de la femme à la mode.

Nous donnons ici un canapé (emprunté à M. Guilmard) qui nous paraît un excellent



Canapé Louis XV.

modèle de ce genre d'ameublement si riche. Les pieds tourmentés, les moulures sculptées, les formes arrondies, la richesse du damas de soie à ramages, tout concourt à l'éclat de ces meubles, en rapport parfait de goût avec les toilettes, les fêtes de nuit de la cour, etc.

Les petits meubles, tels que coffrets, secrétaires, etc., devinrent encore plus recherchés, d'un travail plus délicat que les grands meubles, par l'emploi des bois de couleurs variées, des incrustations nombreuses, et le mélange de la porcelaine peinte avec des couleurs tendres, agréables à l'œil; éléments heureux qui accroissent beaucoup l'étendue des combinaisons possibles, et qui, réunis, charment l'œil et satisfont à tous les caprices de la fantaisie [1].

En fait d'ameublement, on admet généralement un style Louis XVI, que nous avons déjà indiqué en parlant de la porcelaine, et qui prend ici un caractère assez déterminé. L'emploi du bois de rose, des plaques de porcelaine, des médaillons, des galeries et trophées en bronze doré, est fréquent dans ces meubles; on y rencontre souvent des colonnes cannelées. Il se distingue du style Louis XV par une plus grande modération dans les enroulements, par l'emploi de formes moins tourmentées. On pensait ainsi se rapprocher de l'antique, dont on était cependant bien éloigné. Nous offrons plus loin des œuvres modernes conçues dans ce style qui en donnent une idée assez précise.

STYLES ÉTRANGERS.

Orientaux. — Les Orientaux n'ont pas de meubles, toujours étendus sur des tapis, des coussins, ils n'ont pas l'emploi de cette multitude de tables, de chaises, etc., qui forment la majeure partie du travail de l'ébénisterie. Le style mauresque est essayé assez fréquemment aujourd'hui pour la décoration du mobilier. On en retrouve les éléments dans le style vénitien, qui possède un cachet oriental, dû comme nous l'avons déjà dit aux relations de Venise avec l'Orient. Dans ce style, qui mérite d'être cité, l'emploi du lapis, des émaux est fréquent; il donne des œuvres élégantes, comme on le verra plus loin par un exemple.

[1] Ce fut au commencement du siècle dernier que commença la fabrication des meubles d'acajou par les ébénistes, dont le nom rappelle l'emploi fréquent de l'ébène dans les meubles de luxe.

« En 1720, dit M. Wolowski dans son intéressant rapport sur l'ébénisterie de l'Exposition de 1851, un médecin célèbre de Londres, nommé Gibsons, reçut de son frère, capitaine de vaisseau, plusieurs billes d'acajou qu'il avait rapportées des Indes orientales. Il voulut les employer dans une construction qu'il faisait élever dans King-Street, Covent-Garden ; mais les charpentiers se plaignirent de ce que le bois était trop dur, et il fut laissé de côté. Peu de temps après, Gibsons fit appeler son ébéniste, Wollaston, et lui demanda d'utiliser ces matériaux qui gisaient dans le jardin. La réponse fut la même : la matière était trop dure pour l'employer ; mais le docteur ne se tint pas pour battu : il dit qu'on pouvait se servir d'instruments plus puissants, et après quelques essais sur de petits objets, Wollaston réussit à fabriquer un bureau qui émerveilla tellement le docteur Gibsons par la couleur, le poli et l'aspect général, qu'il invita ses amis à venir voir ce meuble, unique en ce moment. Dans le nombre était la duchesse de Buckingham, qui demanda un bureau pareil. Wollaston fut encore chargé de le fabriquer, et sa réputation grandit à mesure que l'usage de l'acajou se multiplia. Bientôt il fut à la mode comme objet de luxe, et plus tard le placage en rendit l'usage à peu près universel. »

Chinois.—Les Chinois et surtout les Japonais nous ont fourni le type d'un genre de meubles qu'ils excellent à fabriquer; nous voulons parler des meubles en laque, dans lesquels des ornements dorés sur fond noir et brillant ont un grand éclat. Ce genre a eu un grand succès à une certaine époque, et fournit des effets encore fort estimés aujourd'hui dans nombre de cas. Birmingham a monté en papier mâché (carton-pierre) une très-curieuse et prospère fabrication de meubles en laque avec incrustations de nacre, qui est une imitation assez imparfaite de la belle fabrication chinoise et japonaise. Un Français, M. Osmont, s'est consacré avec assez de succès à créer ce genre de meubles.

Indous. — La fabrication de l'Inde est représentée à l'Exposition de Paris par quelques pièces assez curieuses, remarquables par un mode de sculpture particulier. Nous voulons parler des découpures à jour, des ornements vermicellés de formes variées, des palmes analogues à celles figurées sur le vase que nous avons donné à l'article Céramique. Nous citerons aussi un genre de décoration qui est une véritable gravure sur bois en relief; toute la surface supérieure des arabesques gravées dans le bois est dans un même plan. Ce genre ne manque pas d'élégance, et porte ce cachet d'originalité d'une nation que nous imitons souvent, mais qui ne nous imite jamais Parmi nombre de meubles mis à l'Exposition de 1855 par la compagnie des Indes, on doit remarquer aussi d'admirables pièces en ivoire, un échiquier notamment, dont le pied est formé par des palmes d'une grande richesse.

ÉPOQUE MODERNE.

Au commencement du siècle, l'idée dominante chez les artistes que le grec était le type absolu du beau a fait essayer des meubles à la grecque. Le mouvement des idees révolutionnaires voulait tout faire rétrograder vers l'antiquité, par une haine aveugle du présent. Percier essaya, sous l'empire, de déterminer les formes de meubles soumises aux lois de l'art grec, et Jacob fut l'habile metteur en œuvre de ces idées En dépit de tout le talent de Percier et de Fontaine, de leurs vastes connaissances, le succès de leurs créations fut de courte durée. Ils n'obtiurent, en cherchant, en quelque sorte, les meubles qu'eussent voulu construire les Grecs vivant de notre vie, que des formes roides, des espèces de petits monuments ornés de petites colonnes ornées de chapiteaux dorés, qui, tout à fait en désaccord avec nos mœurs, ne sont plus goûtés de nos jours, et n'ont pas laissé de trace sérieuse dans les progrès de l'art.

La restauration sortit timidement de cette voie, sans créer un type bien défini.

Nous devons citer, parmi les tentatives faites pour fixer le goût, celle de Chenavard, qui, peu après 1830, voulut réagir contre les formes grecques adoptées depuis trente ans, et ramener les belles formes de la Renaissance, en cherchant à reproduire facilement de beaux modèles, en voulant faire une industrie, une fabrication courante

de ce qui était un produit d'art à l'époque de la Renaissance. Il fit des meubles très-élégants en noyer ou bois teint en noir, ornés en général de colonnes torses, recouverts de tapisseries, d'étoffes, dont les dessins correspondaient parfaitement au style qu'il voulait imiter. Nous donnons ici un fauteuil appartenant au mobilier qu'il chercha ainsi à créer.



Fauteuil de Chenavard.

Cette tentative, sans réussir complètement, eut une très-heureuse influence sur les progrès de notre industrie ; elle vint exciter les dessinateurs en meubles à chercher leurs modèles dans les productions de la Renaissance, et fit entrer dans la pratique un grand nombre d'éléments de décoration nouveaux. Les bois indigènes vinrent de nouveau faire partie des ressources du constructeur de meubles, et s'ajouter à l'acajou, à l'ébène, et surtout au palissandre qui est venu le dernier occuper une grande place dans l'ébenisterie.

Si l'acheminement du mobilier vers les formes et surtout les décorations de la Renaissance tendait à se manifester pour les meubles usuels, le désir de faire des objets élégants pour nécessaires, corbeilles de mariage, etc., tous ces objets de goût auxquels on donne, dans le commerce le nom de petits meubles, ramena de son côté au mélange du bronze doré, des porcelaines, des émaux, etc., avec le bois, et par suite aux styles de Louis XIV et Louis XVI. On peut dire que le style Louis XIV nous est revenu par le désir de les couvrir d'incrustations, ce qui a formé des ouvriers capables d'attaquer l'exécution des mobiliers les plus complets, des plus grandes pièces. Les incrustations, réduites souvent à quelques filets seulement, ont été fréquemment adoptées pour la décoration de meubles assez simples. Ces divers styles ont produit des formes, des décorations de mobilier toutes spéciales, qui ne sont pas, comme nous l'avons vu pour des époques où l'art jetait peu d'éclat, des imitations en bois de l'architecture.

Si nous parlons maintenant de l'ébénisterie d'art, ce qui comprend indirectement les meubles du commerce, qui sont toujours un reflet des œuvres les plus soignées, en laissant également de côté l'etude de tous les styles employés dans des cas particuliers pour des ameublements spéciaux, nous dirons qu'en général depuis plusieurs années, c'est entre l'imitation du style Louis XIV et celui de la Renaissance que le goût oscille. La perfection avec laquelle nos ouvriers exécutent le travail d'incrustation permet d'établir d'admirables imitations de Boule, de vulgariser ces meubles si riches. Cependant en ce moment on peut dire que ce sont les œuvres inspirées par les traditions de la Renaissance qui occupent le premier rang; le public est entraîné par le talent des artistes et surtout des sculpteurs, dont les produits sont de véritables œuvres d'art, et auxquels ils donnent un cachet propre à notre temps qui semble se dégager du milieu d'une imitation partielle du passé, sans qu'il soit facile de le formuler d'une manière encore nettement définie.

Si les œuvres artistiques rappellent la Renaissance, les produits du commerce, imitation éloignée de ceux-ci, doivent être rangés dans la même classe; c'est ce que rend indubitable la vue des mobiliers destinés à la vente courante qui garnissent les boutiques des commerçants. Nous ne saurions faire trop remarquer combien cette fabrication, inspirée par des œuvres élégantes qui en sont le couronnement, se distingue dans notre pays par la pureté des lignes, par une véritable élégance de formes généralement bien comprises.

Mais avant de passer aux œuvres les plus remarquables de notre industrie, disons quelques mots de celles des nations rivales de la France

Aussi longtemps que l'ébénisterie anglaise se borne au soin du comfortable, source d'un style bien en rapport avec nos mœurs, mais fort éloigné des données artistiques, elle remplit bien les conditions de durée et de solidité, et ne manque pas d'élégance, aussi il y a vingt ans elle nous fournissait souvent des modèles; mais dès qu'elle vise au grand luxe et à l'imitation des formes de la nature, elle cesse d'être satisfaisante.

En Allemagne, l'ébénisterie de Vienne jouit d'une grande réputation. Plus lourde que celle de Paris, elle a cependant un véritable mérite. On reconnaît dans ses produits, avec une malheureuse propension à la lourdeur, une excellente exécution de formes compliquées, résultat de cette vulgarisation de la science du dessin qui est une base si importante des progrès de l'industrie allemande. Nous en donnons

pour exemple un fauteuil de Leisler, de Vienne, dessiné par l'architecte Bernardo de Bernardis, qui possède un caractère incontestable de richesse.



Fauteuil de Leisler

A l'Exposition de Londres, l'ébénisterie française brilla d'un grand éclat, et nous ne saurions mieux faire pour permettre d'apprécier le style des belles pièces françaises, que de donner le buffet sculpté par Liénard, mis à cette Exposition par M. Fourdinois de Paris, que l'opinion publique a justement sacré comme un chef-d'œuvre. Les chiens qui le supportent, les produits de la chasse, les animaux morts qui le décorent sont sculptés avec une fidélité, une délicatesse d'exécution toute moderne; les statues qui représentent les quatre parties du monde sont : l'Europe qui a le vin, l'Asie le thé, l'Afrique le café, l'Amérique la canne à sucre; à la partie supérieure, les enfants qui représentent les Vendanges et la Moisson; au milieu, l'Abondance; enfin, la Chasse et la Pêche qui ornent les deux côtés mieux encore que le fronton brisé, rappellent avantageusement les plus belles œuvres de la Renaissance. C'est là une de ces œuvres qui, par leur perfection, le parfait rapport des ornements avec la destination de l'objet, la beauté des sculptures sur bois, deviennent de véritables œuvres d'art dont un pays se glorifie à juste titre.

Un des caractères les plus saillants de la fabrication française, et qui a été le plus incontestablement reconnu à l'Exposition universelle de Londres, c'est la fécondité de ressources, l'habileté de nos fabricants à disposer les pièces et les ornements, à

grouper gracieusement les détails en raison de l'usage auquel les meubles sont destinés. Mais si la fertilité d'invention de nos fabricants artistes brille surtout dans



Buffet de Fourdinois

cette industrie, empressons-nous d'ajouter que, nulle part, les conceptions ne sont mieux senties par l'ouvrier qui exécute. C'est sur la diffusion de capacités artistiques, sur l'habileté proverbiale de toute notre population du faubourg Saint-Antoine, où le travail de la fabrication du meuble se divise à l'infini, que repose la supériorité de cette belle industrie de la France[1].

Au reste, afin de n'être pas soupçonné de prévention dans l'opinion favorable que

[1] On ne travaille nulle part le bois sur une aussi grande échelle qu'au faubourg Saint-Antoine, à Paris. Ce quartier constitue un de ces grands centres industriels d'une immense puissance productive, où toute une population rivalise et excelle dans un genre de création. La division du travail y

nous émettons sur l'exposition des meubles de la France et pour préciser le style qui prévaut aujourd'hui, nous reproduirons l'appréciation générale d'un juge compétent et impartial, M. Œchelæuser, le rapporteur de l'Association douanière, qui s'exprime ainsi dans le travail officiel publié au nom de la commission du « Zollverein » [1] :



Meuble style vénitien de MM. Grohe.

« Si l'on ne saurait soutenir que dans tous les genres de meubles, sans exception. « la France a fourni ce qu'il y avait de plus remarquable à l'Exposition du Palais de « Cristal, l'avis de tous les connaisseurs n'en a pas moins été unanime et formel pour « reconnaître que dans ce concours la victoire appartient aux Français. La pureté du « style, l'harmonie de la construction et de l'ornementation, le choix des matériaux, « qui répondaient toujours aux exigences du dessin, de la couleur et des qualités « particulières du meuble aussi bien qu'aux convenances du style adopté et de la « destination, une habileté incomparable dans le travail de menuiserie et de sculp- « ture, une heureuse distribution des ornements, qui empêche de surcharger même « les dispositions les plus riches ; toutes ces qualités réunies faisaient de la division

est poussée, avec un grand avantage, jusqu'aux dernières limites. Il existe, au faubourg Saint-Antoine, des usines où l'on se borne à scier le bois de placage ; d'autres qui débitent les bois de couleur en petites lanières pour les filets et l'incrustation ; il y a des ouvriers qui travaillent le bois comme la dentelle ; des ouvriers qui posent des basanes, des vernisseurs, des colleurs, des sculpteurs de fauteuils, des mouleurs, etc., etc , qui tous « ne font qu'un article, » pour employer le terme consacré, et en vivent très-honorablement. Cette division extrême, en concentrant l'habileté des ouvriers sur un seul objet constamment demandé, les a conduit à une finesse d'exécution incomparable.

[1] Berlin, 1853, t. III, p. 416.

« des meubles français une des plus belles parties de l'Exposition universelle. Il faut
« leur reconnaître le mérite de l'inspiration originale, car on doit envisager les
« produits français comme les véritables modèles dans cette branche de l'industrie;
« beaucoup de meubles d'autres pays n'étaient qu'une imitation.

« Le style nouveau adopté en France obéit à une direction qui s'éloigne des
« nombreuses déviations du goût qui déparaient les siècles de Louis XIV, Louis XV
« et Louis XVI, et des prétentieuses recherches du « rococo. » Les produits mis au
« jour à Londres relèvent du style de la Renaissance dans toute sa pureté, et encore
« a-t-il été affranchi des éléments qui ne répondent plus au sentiment du beau dont
« s'inspire l'époque actuelle. Nous signalerons, par exemple, la substitution de la
« figure vivante aux cariatides, et surtout la tendance à emprunter à la nature elle-
« même les sujets de l'ornementation. »



Bibliothèque Renaissance de MM. Grohe.

On voit que le succès de la France est ici complet, et qu'à cette industrie encore s'applique bien le mot de Necker : « Le goût est pour la France le plus adroit de tous les commerces. »

L'Exposition de 1855 nous offre peut-être un trop grand nombre de pièces inspirées par le beau meuble de M. Fourdinois; aussi par leur multiplicité font-elles désirer des meubles dont l'harmonie résulte de lignes gracieuses qui, on l'oublie un peu trop en ce moment, ont une importance plus notable que les sculptures et doivent dominer tous les ornements. MM. Grohé ont sous ce rapport une admirable exposition, qui est justement appréciée par tous les connaisseurs. Elle est surtout bien précieuse au point de vue de ce travail en ce qu'elle offre des pièces bien étudiées de styles anciens.

Nous avons reproduit ci-dessus : 1° leur meuble vénitien, appartenant a ce style dont nous avons parlé plus haut, charmant petit meuble de dame, qui avec ses pierres en saillie a un éclat très-grand sans les tons criards que donne l'emploi de poteries; cette condition a été également bien remplie par M. Fourdinois dans une belle bibliothèque en ébène ornée avec des émaux de teintes peu éclatantes. En second lieu, nous donnons leur armoire Renaissance (fin de cette époque, XVI[e] siècle), meuble en ébène dont les lignes sont d'une pureté parfaite, où les rencontres de parties circulaires et rectilignes se combinent harmonieusement. Le bronze que, de nos jours, l'on cherche trop, nous croyons, à mélanger au bois pour en faire partie intégrante du meuble, trouve, comme accessoire, une excellente application dans cette bibliothèque destinée à renfermer des objets d'art.



Armoire Louis XVI.

Enfin nous reproduisons leur armoire Louis XVI, qui est une excellente étude de ce style et montre tout l'effet que l'on peut retirer de l'emploi du bois de rose rehaussé par des ornements en bronze doré

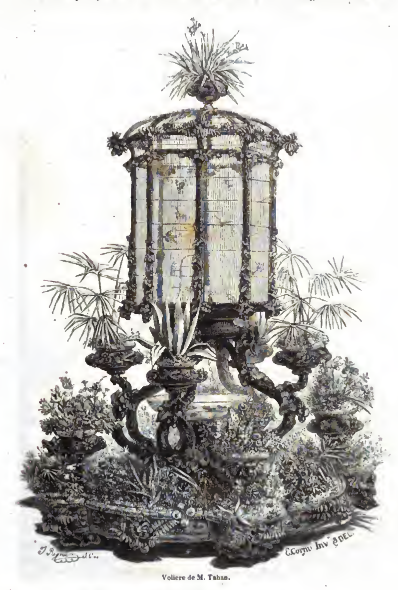
M. Tahan a exposé une bibliothèque étagère du même style, qui est un beau et



Bibliothèque-étagère Louis XVI.

sérieux travail. Il est important de dire qu'elle est établie dans des conditions un peu spéciales, à savoir de manière à s'allier passablement avec les meubles style empire qui se trouvent dans la pièce où elle doit être placée. Nous reproduisons aussi la volière du même exposant, ornée de sculptures, de feuilles et de fleurs en relief, genre d'ornement qui a été fort goûté du public pour des meubles de petite dimension. Cette pièce fait honneur à M. Cornu, l'habile dessinateur qui l'a conçue; et elle est une des œuvres populaires de l'Exposition de 1855; néanmoins pour les grands meubles, et en dehors d'une application heureuse telle que celle de cette volière,

nous sommes peu partisan des feuilles et des fleurs en bois. Ce genre d'ornements



Volière de M. Tahan.

a peu d'éclat et fait penser à la couleur absente.

Le piano d'Érard, style Louis XV, décoré par M. Guichard et tout couvert de peintures genre Boucher, est une œuvre charmante. Le prie-Dieu (gothique du XVe siècle) de

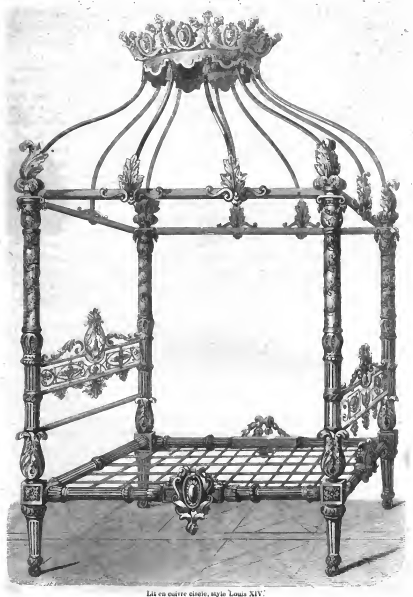


Prie-Dieu gothique

M. Tahan, que nous donnons encore complétera notre démonstration que l'étude de tous les styles anciens entre aujourd'hui dans le programme de nos habiles fabricants.

La décoration des meubles en fer, à l'aide de plaques de fontes fournissant des bas-reliefs, ne nous paraît admissible, « artistiquement parlant, » que dans des cas très-limités. Le fer donne toujours des formes maigres, ne peut fournir des surfaces agréables à l'œil; nous devons faire une exception en faveur du beau lit Louis XIV, en cuivre ciselé, exposé par M. A. Dupont, et que nous reproduisons ici.

Il en est de même des meubles entièrement couverts d'étoffes, dans lesquels il n'y a pas de bois apparent; ces meubles ont un mérite réel de confortable, mais, malgré l'emploi du velours, des franges, etc., ils n'ont jamais grand caractère artistique et même en général ils ont peu de charme. Nous devons toutefois faire exception pour quelques cas où l'emploi en est fait avec goût et qu'ils viennent se combiner avec de riches tentures. Leur fabrication est tout naturellement dévolue au tapissier et sort du domaine de l'ébéniste.



Lit en cuivre ciselé, style Louis XIV.

Nous n'avons traité ici qu'incidemment de la sculpture sur bois, sur laquelle nous

aurons à revenir dans les chapitres suivants, en parlant de son emploi pour la décoration des salles sous forme de lambris, dans des cas où la sculpture devient l'objet principal et non plus l'accessoire, où la construction, en quelque sorte, architecturale du meuble disparaît.

Nous ne saurions mieux terminer cette étude sur notre belle industrie de l'ébénisterie qu'en empruntant à l'intéressant rapport de M. Wolowski sur l'Exposition de Londres des considérations élevées sur les causes d'une supériorité dont notre pays peut être fier à juste titre, sur les relations nécessaires entre le développement de la vie morale, intellectuelle des peuples, et leur supériorité dans les œuvres d'art industriel. Ce passage de son rapport mérite à tous égards d'être médité. « Le sceptre du goût, dit-il, appartient incontestablement à la France : nous devons cette prééminence non-seulement à l'intelligente application des leçons puisées dans le spectacle des œuvres d'art, car les chefs-d'œuvre de toute nature abondent ailleurs; non-seulement à d'excellentes écoles de dessin, on en a fondé beaucoup en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, etc.; non-seulement à l'habileté du « tour de main », car nous comptons nombre d'excellents ouvriers qui nous viennent de l'autre côté du Rhin; mais au sentiment du beau et du vrai, de l'unité et de l'harmonie, qui laisse son empreinte sur les productions de l'esprit français : c'est le fruit de ce sens à la fois pratique et exquis que donne une culture supérieure (aux acheteurs comme aux producteurs) et que l'habileté mécanique ne saurait remplacer. Il importe pas moins pour l'avancement matériel que pour le progrès moral des peuples d'élever l'âme, d'orner l'intelligence, d'étendre l'horizon de la pensée et de fortifier notre esprit. »

SECTION IV

SCULPTURE

ARTS QUI RELÈVENT DE LA SCULPTURE : BRONZES, ORFÈVRERIE, BIJOUTERIE, JOAILLERIE.

Les modifications de style que nous avons étudiées dans l'architecture se distinguent avec une grande netteté dans la sculpture, qui ne cesse d'être autre chose qu'un moyen de décoration de l'architecture, et ne se détache de celle-ci qu'aux époques où le goût des arts se développe. Jusque-là, elle reste une annexe de l'architecture et ne s'élève pas jusqu'à l'imitation complète des modèles fournis par la nature. Nous avons donc à l'étudier non-seulement en elle-même, par rapport aux styles qui se manifestent dans les produits de l'art pur, mais aussi parce que les produits des arts que nous allons considérer sont de véritables sculptures obtenues par des procédés ou avec des matériaux particuliers. De plus, ce sont nos artistes qui indiquent les types et les formes suivis de loin par l'industrie; souvent même ils créent jusqu'aux produits que les fabricants se bornent à surmouler, à réduire. Les sculpteurs éminents posent les règles, forment le goût, et bien souvent exécutent les modèles les plus parfaits; ils remplissent tout à fait, par rapport à l'art industriel, le rôle de nos savants relativement à la technique de l'industrie.

Nous diviserons en quatre parties les arts industriels qui entrent dans cette division.

1° La sculpture proprement dite, comprenant, outre la statuaire, les œuvres d'art employées comme moyen d'ornement, la sculpture décorative sur bois et sur pierre, et aussi les moulages et réductions en plâtre, en carton-pierre, etc.

2° Les bronzes, la reproduction de la statuaire en métal par la voie de la fonte et à l'aide de la galvanoplastie, comprenant les emplois des divers métaux : le bronze, le zinc, la fonte de fer, etc.

3° L'orfèvrerie, employant, outre la fonte et la galvanoplastie, le procédé spécial du repoussé.

4° La bijouterie, employant surtout pour les ornements servant à la toilette des femmes, bagues, bracelets, chaînes, etc., les métaux précieux; et la joaillerie, ceux-ci mélangés avec les diamants et les pierres précieuses.

Avant de parler des styles, des variations du goût dans ces divers cas, disons quelques mots des procédés des industries qui correspondent à ces diverses divisions.

1° STATUAIRE.

D'après le cadre de cet ouvrage, nous ne pouvons traiter qu'accidentellement de l'art pur, dont l'étude approfondie exige la vie entière du plus grand artiste, et seulement parce que c'est son développement qui domine tous les arts de la forme; les modifications du goût dans les œuvres d'art ont toujours une traduction directe dans les applications industrielles qui relèvent de cet art. Nous ne donnerons, dans ce qui va suivre, que l'énoncé des variations du goût généralement admises; nous prendrons notre point de départ dans les résultats incontestés de l'étude des œuvres célèbres.

Dans la reproduction des statues, en général, réduites à de petites dimensions pour faire l'objet de l'industrie, pour cesser d'appartenir aux beaux-arts proprement dits qui ont pour objet la production originale, tandis que l'industrie n'a pour but que leur multiplication (on voit, d'après cela, qu'elle reçoit souvent le secours de l'art, qu'elle se mêle fréquemment avec lui), on ne se propose, en général, que de conserver les poses gracieuses, l'aspect agréable du modèle; presque toujours on perd de vue l'idéal, le sentiment élevé de la sculpture est méconnu. Cela résulte presque forcément de l'exiguïté des dimensions qui amoindrissent l'effet des statues, suite nécessaire de leur emploi taut comme décorations isolées que comme ornements de produits industriels. Cette reproduction constitue en elle-même une spécialité qui tient une place importante dans les arts industriels dits arts d'imitation.

Quant aux procédés multiplicateurs, ils consistent essentiellement dans le moulage appliqué à des matières plastiques, au plâtre, au carton-pierre, au stuc, etc. Comme dans le cas étudié ci-après, c'est par les procédés qui rendent le moule composé du moins grand nombre possible de pièces, et diminuent par suite les chances d'altération des formes, que se trouvent les moyens les plus avantageux pour reproduire à coup sûr les qualités du modèle.

Le moulage en plâtre, moyen le plus facile et le plus exact de reproduction, fut mis à la mode à l'époque de la Renaissance par Werrochio, peintre et sculpteur habile, et ce procédé devint d'un grand secours pour la vulgarisation des œuvres de l'antiquité.

Nous ne devons pas passer sous silence les divers procédés mécaniques, et surtout le procédé Collas, procédé tout moderne, employé avec succès pour la réduction des statues, et qui a contribué puissamment dans ces dernières années à vulgariser les

réductions des chefs-d'œuvre de la statuaire. Son grand mérite est de conserver parfaitement les grandes lignes artistiques, les lignes de grande courbure du modèle, parce que son mode d'operer repose sur la reproduction de celles-ci. (Voir DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES.) Nous montrerons plus loin les avantages inherents à ce mode d'opérer, en parlant de la représentation des objets à l'aide du dessin.

En même temps que de la statuaire, nous aurons à parler de la sculpture décorative, qui absorbe tout l'art aux époques où l'architecture seule jette un grand éclat, et n'en est que plus brillante aux époques de splendeur où ces deux arts existent séparément. Nous aurons aussi à dire quelques mots de la sculpture la plus industrielle de toutes à cause de la rapidité de sa production, la sculpture sur bois, dont nous avons été contraints de parler déjà dans son emploi pour l'ornementation des meubles.

2° BRONZES.

Nous avons laissé de côté dans ce qui précède la reproduction en metal et surtout en bronze, parce qu'elle constitue une industrie spéciale d'une grande importance. La belle couleur du bronze, la facilité d'y appliquer la ciselure en ont toujours fait la matière la plus parfaite pour la reproduction des œuvres de la sculpture.

L'art du fondeur en bronze s'est élevé, chez les anciens, à la hauteur de la sculpture. La quantité immense de statues et de vases de bronze qu'ils ont produits dépasse toutes les limites qu'on peut imaginer. C'était par milliers que les Romains enlevaient à la Grèce ses œuvres d'art de tout genre, tous ces objets auxquels la perfection du travail donnait tant de prix. La masse de ces richesses semblerait vraiment fabuleuse, si la découverte de Pompéi n'était venue confirmer l'authenticité des récits du passé.

L'âge de la barbarie vit disparaître l'art du fondeur en bronze; mais, à l'époque de la Renaissance, il se releva en Italie, comme nous le verrons bientôt, pour s'amoindrir encore une fois et enfin renaître sous Louis XIV avec un grand éclat.

De nos jours, les objets que comprend cette industrie, comme les besoins du luxe auquel elle doit satisfaire, sont extrêmement nombreux. Indépendamment des bronzes proprement dits, objets d'art destinés à la décoration de nos demeures, nous citerons, après l'importante fabrication des pendules, les bronzes dorés, les mélanges de ceux-ci avec la porcelaine, le marbre, etc., celle des candélabres, lustres, et toute cette série d'appareils servant à l'éclairage, notamment à l'aide du gaz.

Sous le rapport technique, le grand progrès dans la fabrication des bronzes repose sur les procédés de fonte à bon creux, c'est-à-dire en obtenant, à l'aide de la cire, un moule qui, vidé par l'effet de la chaleur, permet d'obtenir la pièce bien fondue d'un coup, et non couturée par ces jonctions de moules partiels trop souvent employés qui défigurent le plus souvent la pensée de l'artiste. C'est alors qu'intervient le ciseleur, véritable sculpteur sur bronze, dont le travail est lent, cher, et exige une extrême habileté. Un progrès analogue tend à être réalisé par la galvanoplastie, qui permet de faire déposer le cuivre par voie humide dans un creux obtenu à l'aide

d'une substance élastique, la gutta-percha ; aussi est-elle adoptée fréquemment aujourd'hui pour diminuer le travail de réparation de ciselure, surtout pour les petites pièces, les bas-reliefs de peu d'épaisseur.

FONTE DE FER, ZINC.

La fonte de fer, si importante pour l'industrie en général, n'a pu remplacer le bronze dans la production artistique. L'extrême dureté de la croûte extérieure des pièces fondues en fonte de fer empêche le travail de la ciselure qui, avec le bronze, permet de réparer les imperfections du moulage, de faire disparaître les coutures des moules, etc.

Ce n'est que dans la décoration monumentale, comme pour les fontaines qui décorent les places publiques et d'autres monuments analogues, que la fonte de fer a été adoptée à cause de son bon marché. Encore aujourd'hui cède-t-elle souvent le pas au zinc, plus léger que la fonte et qui se moule convenablement entre les mains d'habiles fondeurs, tels que ceux de Berlin. On a exécuté avec succès, en Allemagne, plusieurs frontons en zinc pour de grands édifices, le théâtre de Hambourg par exemple.

Le bas prix du zinc, la possibilité de le couler dans des moules métalliques c'est-à-dire pouvant servir indéfiniment, à cause du peu d'élévation de son point de fusion et du peu de chaleur communiquée au modèle dans le procédé dit « au renversé, » en permettant de réduire considérablement le prix de la fonte, fait exécuter en ce métal une foule d'objets à bas prix, auxquels la galvanoplastie permet de donner l'apparence du bronze par le dépôt d'une couche très-mince de ce métal.

3° ORFÉVRERIE.

L'orfévrerie, c'est-à-dire le travail de l'or, est un des arts les plus anciens. On le trouve florissant aux époques de splendeur des différents peuples. Les beaux-arts, dit M. de Luynes, exercent une influence constante sur l'orfévrerie parce que, malgré les usages domestiques auxquels cette industrie est le plus souvent affectée, les matières précieuses sur lesquelles elle s'exerce lui ont toujours imposé une recherche de formes particulière ; aussi la voyons-nous toujours s'élever ou déchoir avec la peinture et la sculpture. Cette industrie, essentiellement de luxe et toute décorative, est en réalité, dans ses œuvres capitales, un art véritable (appelé toreutique par les anciens), employant, en sus de la fonte dans quelques cas, un procédé tout particulier de fabrication, la retreinte, le repoussé au marteau, qui permet d'utiliser la grande malléabilité de l'or et de l'argent pour créer une œuvre unique, originale, en un mot une

œuvre d'art. Le repoussé exige un talent réel et une grande connaissance du modelé. Une œuvre exécutée par ces procédés se distingue, à la simple vue, d'un morceau fondu et ciselé et porte toujours une empreinte de vie et d'originalité qui lui donne une grande valeur[1]. Ce n'est que pour des produits dont la consommation est étendue, qu'on arrive à la multiplication économique des pièces par l'estampage, par le repoussé obtenu au moyen de creux et de reliefs de la forme même qu'il s'agit d'obtenir. Les ornements estampés, soudés ou vissés sur la pièce principale servent, comme des ornements fondus ou obtenus aujourd'hui par la galvanoplastie, à décorer des pièces qui tirent leur charme de formes géométriques dont les convexités sont continues et brillantes. Mais quels que soient les modes de travail, on ne peut séparer l'étude de procédés différents employés pour obtenir des produits de même nature, de même qu'on doit, au point de vue de l'art, étudier à la fois les pièces qui tirent leur harmonie de la proportion des lignes, qui ne rappellent aucune production naturelle, et celles remarquables par l'imitation des êtres animés. Ces circonstances viennent se présenter souvent en même temps dans les pièces d'orfèvrerie.

L'application industrielle de l'estampage a engendré plusieurs fabrications économiques; telle est celle des cuivres estampés, pour laquelle on n'a besoin que de creux fondus fournissant des reliefs en plomb pour simple coulage. Ces cuivres, de faible épaisseur et livrés à bas prix, peuvent cependant donner des produits satisfaisants, leur grande multiplication permettant d'apporter des soins convenables au type primitif.

A propos de l'estampage, nous devons rappeler la plus ancienne et la plus importante fabrication, le monnayage, qui s'applique au travail de plaques métalliques d'assez grande épaisseur pour la fabrication des monnaies, médailles, etc.

Puisque nous disons quelques mots des procédés, nous devons citer la galvanoplastie qui tend à envahir aujourd'hui l'orfèvrerie comme les bronzes et qui donne des résultats très-avantageux dans beaucoup de cas.

Plus facilement peut-être que la statuaire, l'orfèvrerie permet, tant par son éclat que par le peu de grandeur des personnages, par les colorations diverses, etc., de donner surtout aux bas-reliefs, à la représentation de petites scènes complexes, un mouvement, une vie, que le statuaire se propose rarement d'obtenir. Elles sortent d'ailleurs de la sphère qui lui est propre, de la représentation du sentiment individuel. Toutefois, disons, à l'exemple des plus grands artistes, que la figure humaine convient bien moins à l'orfèvrerie que la représentation des animaux, des fleurs, des enroulements de fantaisie qui réjouissent les yeux, sans appeler la critique sur des œuvres que les moyens d'exécution rendent, pour ainsi dire, impossibles à obtenir avec le degré élevé de perfection auquel la statuaire nous a habitués.

On ne doit toutefois pas oublier que l'orfèvrerie n'arrive à l'art qu'en cherchant des moyens de décoration, et ce serait une erreur que de juger les plus belles pièces d'orfèvrerie comme œuvre d'art pur. Le but à atteindre est de charmer l'œil par leur ensemble, de communiquer le sentiment de la richesse par leur éclat, mais

[1] Il faut distinguer le repoussé de la retreinte d'avec procédé de la chaudronnerie, qui ne peut s'appliquer qu'à de grandes surfaces. Le repoussé s'effectue sur une feuille de métal dont les saillies, grossièrement indiquées, sont garnies de mastic de résine, ce qui permet au métal de supporter le choc du marteau sans se déchirer.

jamais les plus parfaites n'atteindront à la valeur artistique d'une belle statue grecque. Comme l'industrie, l'orfèvrerie, par la valeur de la matière première, l'éclat de ses œuvres et le haut prix qui y a été toujours attaché, a tenu de tout temps la première place, et son étude offre beaucoup d'intérêt au point de vue auquel nous nous sommes placés, car dans ses produits nous retrouverons de nombreuses et brillantes manifestations des grandes époques de l'art.

1° BIJOUTERIE, JOAILLERIE.

La bijouterie est une industrie intermédiaire qui procède de l'orfèvrerie, à laquelle elle emprunte la majeure partie de ses procédés; c'est la division de cet art charmant qui s'applique à la fabrication de parures destinées surtout à la toilette des femmes. Elle emprunte à la joaillerie ses ornements les plus riches, les pierres fines, qui n'entrent dans la bijouterie que comme accessoires. S'il est un champ ouvert pour la fantaisie, c'est sûrement celui de la bijouterie, et l'extrême variété des créations modernes le prouve surabondamment; toutefois, les œuvres les plus remarquables sont celles où l'on parvient à donner une signification aux produits, sans toutefois considérer l'imitation des formes de la nature comme une condition nécessaire.

C'est essentiellement avec l'or que se fait la bijouterie; toutefois les formes des bijoux d'or s'exploitent souvent en fausse bijouterie, c'est-à-dire en cuivre doré. A certaines époques, le bijou d'argent, celui même exécuté en acier, sont adoptés par la mode et sont fabriqués en grande quantité; mais en tout temps il s'en fait quelques-uns de fort convenables pour des genres particuliers.

Dans la bijouterie proprement dite, les pierres fines et les perles ne sont, comme nous l'avons dit plus haut, que de brillants accessoires; au contraire, les métaux précieux travaillés avec art, gravés, guillochés, incrustés, les émaux, les nielles, les filigranes, les camées, le corail, les pierres dures, les coraux, les mosaïques sont associés aux ornements d'art et de fantaisie. Il ne faut pas cependant, malgré leurs nombreuses affinités, confondre la bijouterie et la joaillerie, c'est-à-dire l'industrie qui emploie surtout l'or et l'argent pour les décorations et la toilette, avec celle qui a pour objet le sertissage et le montage des pierres précieuses et des diamants, qui, par leur éclat, sont l'apanage caractéristique du luxe et de la richesse.

Revenons maintenant à l'étude de ces diverses industries, de leur histoire et de leurs progrès.

STYLE ÉGYPTIEN.

La statuaire égyptienne représente l'enfance de l'art, ou plutôt un point peu avancé de l'art, auquel une nation s'est volontairement arrêtée; elle est caractérisée par l'em-

ploi de formes conventionnelles préférées à celles qu'eût pu fournir l'imitation fidèle de la nature. En effet, les colonnes des temples égyptiens déjà données, leurs


Sphinx égyptien.

sphinx, leurs statues colossales taillées dans le granit ne sont pas des œuvres barbares, mais des œuvres exécutées à l'aide de puissants moyens d'action sous une forme voulue. Le siècle de Sésostris paraît avoir été l'époque la plus brillante de la statuaire égyptienne. On connaît une admirable statue de ce roi taillée dans le granit noir.

Pour ce qui est de l'orfèvrerie, les recueils d'antiquités égyptiennes nous décrivent


Vase egyptien.

des vases de métal, dont quelques-uns rappellent les formes et les décorations de la Grèce. Nous en donnons ici un, d'un genre tout particulier, qui nous paraît curieux.

Enfin, les joyaux trouvés dans les tombeaux sont loin d'être sans charme. Nous donnons pour preuve un collier, un bracelet, des bagues, une boucle d'oreille en



Bijoux égyptiens.

or, objets dessinés au Louvre, d'après les belles collections du musée Charles X.

STYLE GREC, STYLE ROMAIN.

Malgré notre désir de ne pas traiter ici de l'art pur, nous ne pouvons nous empêcher de dire quelques mots de la statuaire, car c'est rappeler l'art grec dans ce qu'il a en de plus admirable, la direction dans laquelle il a gardé une supériorité incontestée. Les statues grecques sont restées le type le plus élevé de la statuaire. Passionnés pour la beauté physique, les Grecs en ont reproduit par la sculpture d'inimitables modèles; et, tout en employant admirablement la sculpture décorative comme annexe de l'architecture, pour l'ornementation des colonnes, la décoration des façades, ils ont su créer en outre un art complet qui reussit parfaitement à représenter tous les types de la beauté.

Il nous faudrait reproduire ici le musée des Antiques, si nous voulions faire apprécier le mérite de la statuaire grecque; entrer dans une longue suite de considérations pour faire comprendre la pensée recouverte par chaque forme, l'idéal révélé par chaque chef-d'œuvre. Dans l'impossibilité de le faire, nous nous bornerons à reproduire un des chefs-d'œuvre le plus récemment découverts et des plus admirables, la Vénus de Milo; une de ces œuvres qui reflechissent la beauté même, c'est-



Vénus de Milo.

à-dire bien plus que le gracieux, le joli, qui se transforment avec chaque époque. « Une statue antique de l'époque de Phidias, dit M. Deleutre dans son Précis de l'histoire de l'Art, est toujours une grande pensée exprimée d'une manière limpide, un symbole plus ou moins direct, une intention abstraite, un idéal impalpable sous une forme réalisée. L'Olympe antique, qu'est-ce autre chose que les facultés humaines, l'intelligence créatrice, la sagesse, la force, le courage, la poésie, la beauté, sous les figures de Jupiter, de Minerve, d'Hercule, de Mars, d'Apollon, de Vénus [1]?

Depuis les grands progrès de la peinture, c'est-à-dire de l'art qui permet d'exprimer les sentiments les plus variés, on a quelquefois reproché à la sculpture grecque d'être souvent trop froide, de reproduire rarement des sentiments. Aujourd'hui, malgré, et nous dirons presque à cause des admirables travaux de tant d'artistes modernes, on admet que la statuaire ne convient pas pour des scènes mouvementées et que son domaine est vraiment celui que les Grecs lui avaient reconnu.

[1] Grands sculpteurs grecs.—Première époque.—Phidias, auteur des célèbres statues de Pallas et de Jupiter Olympien, en or et en ivoire,—Polyclète,—Scopas, etc.

Œuvres : Bas-reliefs du Parthénon.—Le Canon, statue modèle des plus belles formes de l'homme,—Vénus,—Cupidon.—Faunes, etc.

Deuxième époque, après Périclès.—Praxitèle,—Lysippe, sculpteur d'Alexandre, etc.

Œuvres : La Niobé,—Laocoon,—le Gladiateur,—l'Apollon du Belvédère, etc.

Il n'y a pas de statuaire romaine; c'était le talent des artistes grecs qui, à Rome, décorée des dépouilles de la Grèce, produisait presque toujours les plus belles statues. Toutefois, elles tendaient à exprimer des sentiments plus forts, à posséder peut-être une expression moins idéale que celles de la Grèce. Nous donnerons pour type le Gladiateur mourant. Byron a décrit dans des vers célèbres tout ce qu'inspire la vue



Le Gladiateur mourant

de cette statue, cette mort du Gladiateur, de l'esclave slave mourant loin de sa patrie, pour servir de jouet aux Romains. C'est sous Adrien que le style que l'on peut considérer comme propre aux Romains se montra le plus élevé et le plus pur. Nous



Vase romain.

citerons « l'Antinoüs » comme le plus beau produit de cette espèce de renaissance Comme exemple de sculpture décorative, nous reproduisons un vase en marbre qui se trouve au musée Capitolin à Rome.

En général, dans les intérieurs de l'antiquité, on retrouvait les décorations sculptées des façades, par exemple les colonnes ornées de leurs sculptures. Nous sommes entrés, en traitant à l'architecture des colonnes des divers ordres, dans assez de details pour n'avoir pas à y revenir ici.

Bronzes gréco-romains. — La reproduction en bronze des statues fut extrêmement multipliée en Grèce. C'est par milliers que les Romains enlevèrent les bronzes aux villes grecques, à Corinthe notamment. Nous donnerons ici, comme



Louve romaine.

échantillons de bronzes romains, la louve qui, avec l'aigle, était portée en tête des


Trepied d'Herculanum.

armées, et comme objet d'ameublement un trépied trouvé à Herculanum, dans cette ville, où, comme à Pompéi, tout respire l'art grec.

Orfèvrerie.—Il nous est parvenu de l'antiquité un assez grand nombre de vases d'argent et d'or, de formes très-belles. Chacun connaît la description du bouclier d'Achille tracée par Homère ; c'est à peine si les œuvres de repoussé des plus habiles artistes de nos jours peuvent donner idée de quelque chose d'analogue.

Rome, maîtresse du monde, fut la ville de l'orfèvrerie par excellence. On retrouve dans l'orfèvrerie grecque et romaine la simplicité de composition, les lignes pures de la sculpture antique.

Bijouterie.—Nous donnons ici un collier grec et des ornements de toilette déposés

dans nos musées, qui sont fort élégants. Les dames romaines avaient de nombreux



Bijoux antiques

bijoux, comme l'ont montré les fouilles de Pompéi; leur luxe encourageait les travaux des artistes venus de Grèce, et qui savaient, depuis Phidias, graver les pierres dures. Les camées antiques et les anneaux abondent dans les collections publiques.

STYLE BYZANTIN ROMAN.

Du vie au xiiie siècle, les arts de la forme jetèrent peu d'éclat : la plastique eut quelque chose de barbare, et ne se sépara pas de l'architecture; dans les œuvres de cette époque, la beauté naturelle ne fut pas mêlée à l'esprit, à l'aspiration de

l'artiste dans une proportion suffisante. L'asservissement de l'art à des règles invariables ôtait aux productions tout mouvement et toute variété.

« Au XIe siècle, dit M. Bourquelot « (Patria), » la statuaire se présente sous deux formes bien distinctes : l'une courte et ronde, sans noblesse et sans grâce, grossier souvenir de l'art dégénéré ; la seconde apportée de Constantinople et dont les caractères sont : l'allongement des figures, le parallélisme des plis dans les draperies, l'absence de perspective dans les pieds et les genoux, la courbure des sourcils, la disposition des yeux saillants, fendus et relevés aux extrémités. Ces deux formes se maintinrent presque simultanément jusqu'au XIIIe siècle qui fut, pour la statuaire comme pour les autres arts, une époque de renaissance. »

M. Emeric David fait observer avec raison que les artistes du temps de Constantin (et à plus forte raison les sculpteurs de l'Occident) crurent pouvoir se dispenser d'étudier l'antique et l'homme nu, par la raison que dans des images, la plupart religieuses, ils n'avaient à représenter que des toges. Aussi bientôt ne surent-ils plus poser une figure d'aplomb sur ses pieds, et ils arrivèrent enfin à ne dessiner que des pygmées presque dénués de toute forme humaine.

Remarquons que la statuaire pouvait difficilement ne pas dégénérer lorsque le christianisme vint faire disparaître le paganisme, et qu'avant d'avoir conçu la pensée de constituer un art propre à leurs croyances, les premiers chrétiens voyaient partout les chefs-d'œuvre de l'art païen ; aussi, par haine de l'idolâtrie, proscrivirent-ils les arts et les artistes. Nous n'avons pas besoin de rappeler ici les querelles des Iconoclastes.

Nous ne reviendrons pas ici sur la sculpture décorative du style roman ; nous aurons à compléter plus loin les exemples que nous avons donnés des zigzags, des pointes de diamant, et autres ornements propres à ce style.

Bronze.—On connaît, de cette époque, des bas-reliefs en bronze, obtenus presque entièrement à l'aide de la ciselure. C'était une sculpture en métal, évidemment inspirée par la vue des œuvres nombreuses d'orfèvrerie dont nous allons parler, et par le désir de produire des œuvres plus durables, plus résistantes.

Orfèvrerie.—L'orfèvrerie byzantine, comme l'architecture des empereurs d'Orient, affecta des formes moins sévères, moins pures, moins classiques enfin que l'orfèvrerie antique. On y voit moins d'étude, de calcul dans la combinaison des lignes. Mais, en revanche, une grande recherche de richesse matérielle caractérise l'orfèvrerie du « style byzantin. » On trouve à la Trésorerie d'Aix-la-Chapelle des produits de ce style, qui datent du temps de Charlemagne, et qui pourraient servir de modèles aux artistes de nos jours. La sculpture en métal, par repoussé, occupa une très-grande place dans l'art de cette époque.

Durant le moyen âge, l'orfèvrerie brilla particulièrement dans la fabrication des châsses, des reliquaires, des tabernacles, des ostensoirs, des chandeliers, des retables d'autels, des crucifix, etc. L'orfèvrerie religieuse prit de bonne heure un grand développement chez les Franks, peuple qui identifia ses intérêts à ceux des évêques des Gaules ; elle était en quelque sorte leur art national. Le luxe des souverains, mais bien plus encore la foi, inspirèrent des œuvres merveilleuses ; ainsi vers l'an 1000 la peur de la fin du monde fit affluer les métaux précieux dans les églises ; aussi c'est dans les Trésors des cathédrales que vinrent se réunir les plus beaux travaux. Les châsses, les tabernacles, les reliquaires reproduisent le plus souvent les formes des églises, et

suivent, par conséquent, les évolutions de l'art-type, l'architecture. Jusqu'au milieu du XIIe siècle, et quelquefois plus tard encore, les arcatures et les baies sont en plein cintre, les figures sont très-allongées, avec peu de hanches; les plis des draperies sont verticaux, roides, parallèles et serrés; les poils et les cheveux finement indiqués; les costumes ornés d'une étonnante profusion de bijoux.

Nous donnerons pour type de cette orfèvrerie le morceau bien curieux dont vient de s'enrichir le musée de Cluny. Nous voulons parler du retable en or donné par Henri II, empereur d'Allemagne, à la cathédrale de Bâle, et qui est un spécimen bien



Retable de la cathédrale de Bâle

complet de l'art roman au XIe siècle. L'inscription du « Quis sicut Hel medicus soter» (qui pourrait être médecin sauveur comme le Très-Haut [Hel]), dit par saint Benoît, indique que cette pièce était donnée par l'empereur après sa guérison d'une maladie. On le voit prosterné avec sa femme aux pieds du Seigneur. On retrouve dans cette œuvre le plein cintre du style roman, et tout y respire le sentiment religieux de l'artiste. C'est un exemple curieux de bas-relief exécuté en métal au marteau, par le procédé du repoussé. Comme dans les œuvres importantes de cette époque, le symbolisme respire dans chacun des éléments de cette composition : Raphael représente la force, un autre ange la grâce. La croix grecque et la croix latine se trouvent réunies dans un morceau contemporain de la séparation des églises grecque et latine.

Bijouterie-Joaillerie. — L'orfèvrerie ne se sépare pas à cette époque de la bijouterie, ou plutôt toutes deux sont consacrés à la décoration des églises, au luxe du culte catholique[1].

[1] Un ouvrage bien curieux (*Diversarum artium scedula*), écrit au XIe siècle, par le moine Théophile, qui était à la fois enlumineur de manuscrits, peintre-verrier et orfèvre-émailleur, renferme la description de tous les procédés employés dans les différents arts qu'il pratiquait. On y trouve

Saint Éloi[1], un des premiers évêques du nord de la Gaule, fit ses plus beaux ouvrages d'orfèvrerie dès le VIIe siècle. Il fit grand nombre de châsses; celle de saint Grégoire de Tours fut la plus célèbre. L'art était plus avancé dans nos contrées qu'on ne pourrait croire; il avait déjà pénétré de l'Italie dans les provinces méridionales, chez les Visigoths. L'art de nieller était déjà connu au Xe siècle.

Nous donnons ici la couronne de Charlemagne, qui a deux ornements émaillés,



Couronne de Charlemagne

comme curieux échantillon de joaillerie. Les émaux jouaient un si grand rôle dans la bijouterie de cette époque, qu'on en couvre aujourd'hui les pièces que l'on fait en imitation de ce style, pris souvent comme rappelant le mieux la tradition catholique, tels que les vases d'église, les autels, etc., etc.

STYLE GOTHIQUE.

La sculpture joua un grand rôle au XIIIe siècle comme annexe de l'architecture, qui jetait tant d'éclat par la construction des cathédrales; ses progrès procédèrent de la même foi religieuse qui élevait ces monuments. Elle prit une plus grande importance

l'état des connaissances techniques alors mises à la disposition des artistes, et surtout les instructions les plus détaillées pour la confection des pièces d'orfèvrerie religieuse qui s'exécutaient le plus fréquemment, étant nécessaires au service divin dans chaque église, à savoir : le grand et le petit calice, la burette, l'encensoir.

[1] Saint Éloi, né vers 588 à Catalac en Limousin, fit son apprentissage à Limoges, où existait une tradition de travaux d'orfèvrerie qui remontait au temps de la domination romaine. Devenu le favori de Dagobert, il fonda plusieurs couvents, notamment celui de Solignac en Limousin, dont les moines durent se consacrer à des travaux d'orfèvrerie religieuse.

qu'à l'époque précédente, elle eut à couvrir de statues ces admirables cathédrales, et par une suite naturelle du développement de l'art, l'œuvre du sculpteur se détacha quelque peu du monument et devint souvent une œuvre remarquable par le sentiment qui y respire. Les figures du « style gothique, » au XIIIe siècle, ont des draperies très-amples, des plis peu nombreux, mais affectant toujours le mouvement vertical. Toutefois elles sont bien plus voisines des proportions humaines que celles du style byzantin, et l'exécution en est bien plus large.

C'est de cette statuaire qu'un savant archéologue a pu dire avec raison : « La statuaire grecque produit en nous un sentiment très-pur : le sentiment du beau, mais du beau physique; la statuaire chrétienne développe le sentiment du beau physique et du beau moral, et plutôt le dernier que le premier. » Dans quelques cas, en effet, le sculpteur s'éleva à une grande puissance d'expression, en créant ces sveltes figures d'une tournure si chaste et si ample, telles que celles de la cathédrale de Strasbourg, dues au ciseau des Steinbach.

Evidemment pour produire de telles œuvres, il fallut que l'étude de la nature reprît sa place dans l'art, que l'initiative de l'artiste devînt plus grande. Nous reproduisons ici une Vierge du XIVe siècle, qui a bien le cachet religieux et chaste de l'art de cette époque.



Vierge, sculpture du XIVe siècle.

Vers le XIVe siècle, par suite des progrès de l'art, la sculpture tendit à se matérialiser. A mesure que s'effaçait le goût des compositions symboliques, héritage du style roman, le grotesque commença à s'introduire dans la décoration.

La sculpture sur bois prit aussi une grande place dans l'art et produisit des œuvres admirables destinées surtout à orner les chœurs des églises ; les parties principales de ces œuvres rappellent en général les décorations et surtout les flèches des façades des édifices.

Orfèvrerie.—Avant le XIIIe siècle, l'orfèvrerie n'était guère sortie des monastères ; cependant la corporation des orfèvres existait déjà sous saint Louis. Limoges fut, pendant tout le moyen âge, un centre très-actif de fabrication d'orfèvrerie ; les émailleurs de cette ville ont laissé une juste réputation d'habileté.



Ostensoir de Israël de Mecken

A l'époque du style ogival, l'orfèvrerie suivit les transformations de l'architecture, et, abandonnant le plein cintre, elle adopta l'ogive, les flèchés, les colonnettes, toutes

les merveilles d'ornementation empruntees à l'art sarrasin. Ainsi dans les châsses, dans les petites constructions dont nous parlions ci-dessus, l'ogive remplace le plein cintre comme dans l'architecture ; elles sont presque toujours des imitations, sur une petite échelle, de la Sainte-Chapelle de saint Louis.



Coupe style gothique allemand.

Dans les derniers temps de la période dont nous parlons, les aiguières, les vases a boire se répandirent dans tous les châteaux ; la diffusion de l'art commençait.

La gravure en taille-douce, dont l'invention découla de la niellure, et qui est due à Maso Finiguerra, orfèvre de Florence, qui la fit en 1440, permit de multiplier les

dessins, et l'œuvre des graveurs vint offrir une foule de motifs à l'étude. Elle reproduisait naturellement les œuvres de l'époque précédente qui étaient encore sous les yeux de tous les artistes.

On doit citer, parmi ceux qui ont laissé de brillantes études d'orfèvrerie, Israël de Mecken. Nous donnons ici la reproduction, d'après un de ses dessins, d'un ostensoir de style flamboyant bien caractérisé. Nous y joignons une coupe de style gothique allemand, qui est une excellente étude faite par un artiste allemand, M. Halbig de Munich. (Exposition de Londres.)

STYLE RENAISSANCE.

La renaissance fut une brillante époque pour la sculpture; une élégance toute particulière s'attacha aux produits de Jean Goujon, de Germain Pilon qui, en France, obéissaient à l'impulsion donnée par les grands artistes de l'Italie, et notamment par le plus éminent des sculpteurs, Michel-Ange.

A l'imitation de l'antiquité, à la réhabilitation de la beauté physique, à la recherche des formes plastiques, à l'étude des forces musculaires, pour laquelle il rivalisait avec l'antiquité, l'art nouveau joignit des tendances méditatives propres à la civilisation chrétienne, et souvent aussi, il faut le dire, la satisfaction d'idées sensuelles. La beauté, qui était un culte pour l'antiquité, prit souvent à la renaissance l'apparence de la volupté.

Nous donnons ici les Trois Grâces de Germain Pilon, une des plus charmantes œuvres de la statuaire moderne, qui, bien que rappelant l'antique, s'en sépare néanmoins par une recherche particulière à la renaissance.

Les vues de quelques monuments de cette époque nous ont déjà montré la profusion de sculptures décoratives, et notamment de bas-reliefs qu'employait l'architecture. Exécutés par les grands artistes, le plus souvent, ces travaux ont toute la grâce, toute l'élégance de leur statuaire.

La sculpture sur bois fut utilisée de la même manière pour les décorations intérieures. Les lambris de la salle Henri II, au Louvre, sont justement célèbres, et souvent cités, avec raison, comme des modèles de sculpture décorative.

Le caractère spécial de ce style réside dans la surabondance de compositions ayant une véritable valeur artistique, appliquées à de véritables œuvres d'art qui ne sont plus pour nous aujourd'hui que des produits industriels.

Les artistes de la renaissance reproduisirent à l'infini, et avec une profusion caractéristique de ce style, non-seulement les rameaux, les feuillages, mais encore les formes du corps humain, les enroulements de création fantastique, de syrènes, et cela avec autant de facilité que de pureté, car ils étaient excellents statuaires.

Bronze.—L'art du fondeur en bronze, à la renaissance, se releva en Italie avec le plus grand éclat. Florence s'en empara et se rendit célèbre par la supériorité avec

laquelle elle sut l'exercer. Il suffirait, pour le prouver, de rappeler les noms de quelques-uns de ses plus grands artistes en ce genre, notamment de Benvenuto Cellini, dont les belles coupes ciselées sont si recherchées, et celui de Lorenzo Ghiberti,


Les Trois Grâces de Germain Pilon.

l'auteur de ces admirables portes du baptistère de Florence, que Michel-Ange déclarait dignes de former les portes du paradis, et qui, formées de scènes encadrées dans des contours géométriques, sont restées le modèle de l'emploi du bronze dans ce genre de décoration.

Nous donnons ici un vase florentin en bronze du musée de Cluny qui nous paraît admirable de formes et de proportions, où l'on reconnaît la richesse de composition,

la facilité de production de petites statues qui caractérise les artistes de cette brillante période de l'art.


Vase florentin de Cluny.

L'Allemagne a possédé, à la même époque, de grands artistes dans les œuvres desquels on sent le sérieux de l'art allemand. La châsse de saint Sebald de Pierre Fischer de Nuremberg, que nous reproduisons ici, est un chef-d'œuvre de goût d'une rare perfection. On y sent le mélange de la foi du moyen âge et de l'ardeur artistique de la renaissance. Les Apôtres qui entourent la châsse ont toute la perfection des meilleures statuettes de nos jours; les animaux qui la supportent, les feuillages sont étudiés sur la nature, moulés, ciselés avec un soin incroyable.

Orfèvrerie. — Les artistes de l'Italie et de la Flandre avaient déjà créé, avant cette époque, des œuvres bien remarquables; les premiers pour les riches seigneurs d'Italie; les seconds, tant pour les puissants ducs de Bourgogne que pour garnir les dressoirs des riches marchands de Flandre. Les grands artistes de la renaissance, en Italie, furent aussi bien orfèvres que sculpteurs. Ghiberti était orfèvre. Ghirlandajo, le maître de Michel-Ange, un des plus féconds et des plus grands maîtres de l'Italie, dut son surnom à une parure en forme de guirlande dont il était l'inventeur. La

France, ruinée par les guerres, fut bien en retard au XV[e] siècle. Ce n'est que bien plus tard qu'elle entra dans une voie où ses artistes devaient exceller [1].



Châsse de Saint Sebald.

Le caractère spécial du style de la renaissance, dans l'orfèvrerie comme dans les bronzes d'art, consiste en une surabondance de compositions, de créations qui donnent une singulière valeur à des objets qui, comme nous l'avons dit, étaient alors du domaine de l'art plutôt que de celui de l'industrie.

Nous emprunterons encore au musée de Cluny une œuvre excellente de cette

[1] Sculpteurs et orfèvres célèbres en Italie : —Michel-Ange.—Benvenuto Cellini.—Ghiberti. En France : —Jean Goujon.—Germain Pilon.—Pierre Bontemps.—Jean Cousin.—Jean de Bologne-Ducerceau.—Léonard, dit le Limousin, l'émailleur le plus célèbre du règne de François I[er].

époque; c'est l'aiguière de Briot, orfèvre français, qui peut être citée comme un



Aiguière de Briot

modèle de décoration, par le grand nombre de personnages, le bel ageucement des détails, et une certaine retenue que ne possède pas l'école florentine.

Après Benvenuto Cellini, la décadence de l'art, déjà sensible en Italie, envahit l'orfèvrerie. Après le goût si élevé de l'école de Raphaël, l'amour des floritures, du flamboyant, se répandit partout, depuis le Rosso jusqu'au chevalier de Bernin, qui peut être considéré comme le précurseur du style Louis XV.

L'art qui s'en allait de Florence et de Rome, dit M. Dufresne (Globe du 20 mai 1855), s'était réfugié à Venise, où les rapports fréquents avec l'Orient firent naître un goût particulier très-reconnaissable dans la vieille orfèvrerie : ce sont des entrelacements, des ornements solides qui courent sur des fonds vermiculés; les formes d'aiguières, de bracelets, de bagues, de chaînes, les damasquinages, les filigranes de toutes sortes; les formes des coffrets même sont empruntées aux infidèles. C'est par Venise que sont venus les éléments arabes qui se sont mêlés à ceux de la renaissance dans l'art industriel. Les relations de Venise avec l'Allemagne, au temps d'Hammeling, d'Albert Durer, d'Aldegrave et de tous les graveurs germaniques qui multipliaient les modèles d'œuvres excellentes, lui firent aussi faire de grands progrès dans les arts.

Bijouterie-Joaillerie. — Le xvie siècle nous a laissé une multitude de travaux de bijouterie, vases en cristal, coupes en sardoine, en lapis, en jaspe, accompagnés de figures admirablement ciselées et émaillés; de camées richement montés sur des



Aiguière de Briot (plateau)

vases, etc., etc, œuvres d'une telle beauté, d'un travail si difficile, qu'on ne peut comprendre comment l'habileté humaine a suffi pour les créer. Il faut lire les mémoires de Benvenuto Cellini, si l'on veut juger des passions qui étaient souvent en jeu à l'occasion d'un bijou qui devait sortir des mains d'un artiste célèbre. Les têtes couronnées se préoccupaient des formes; les rapières et le poignard étaient en jeu pour vider les querelles engendrées par des rivalités d'artistes. On connaît l'histoire caractéristique de la duchesse d'Étampes, qui allait tous les jours à l'hôtel de Nesle, chez Cellini, pour voir travailler à loisir le bel Ascanio, à un lis en diamant resté célèbre dans les fastes de la bijouterie. On comprend facilement tous les efforts qui furent faits pour créer des œuvres remarquables dans une société où les œuvres d'art étaient si appréciées, où les artistes occupaient une si grande place.

STYLE LOUIS XIV.

L'œuvre de la sculpture sous Louis XIV fut considérable; Puget [1], Coysevoix, Coustou, furent, entre autres artistes, des hommes d'un talent supérieur. La fertilité des sculpteurs est bien prouvée par le grand nombre d'œuvres produites à cette époque; on sait l'immense quantité de statues, de groupes et de vases qu'exigea la décoration de Versailles.

Le style de ces artistes n'a pas un cachet différent de celui de l'architecture: recherche du grandiose, peu de souplesse, si ce n'est chez quelques artistes qui paraissent sentir l'époque suivante.

La statuaire décorative employa à profusion les trophées, comme on peut le voir aux Invalides. La sculpture sur bois les prodigua dans les intérieurs, au milieu de moulures variées. On peut en voir un bel exemple dans la célèbre galerie d'Apollon au Louvre.

Bronze. — La reproduction en bronze de l'œuvre des statuaires ne fut à aucune époque plus remarquable qu'à celle dont nous parlons. Cet art fut restauré et amené à un point d'éclat incomparable par les frères Keller, qui surent suffire à la production la plus considérable sans que leurs œuvres eussent jamais rien de défectueux; aussi sont-elles restées des modèles de l'art du fondeur. Le bronze doré fut employé par Boule pour rehausser l'éclat des meubles. On commença à goûter ce mode brillant de décoration.

Orfèvrerie. — L'orfèvrerie suivit le mouvement général; les mêmes influences amenèrent les mêmes résultats que dans les autres arts, tout fut sacrifié à la poursuite d'une fastueuse noblesse. Ainsi un chef-d'œuvre d'orfèvrerie qui se voit au Musée des Souverains, au Louvre, le coffret d'Anne d'Autriche, fut dû aux talents de Lebrun et de Puget, alliés à celui des ciseleurs. Le style Louis XIV ne se trouve nulle part mieux caractérisé que dans les nombreux dessins que nous possédons des artistes chargés de fournir des modèles aux orfèvres [2]. Nous donnons ici le dessin d'un vase d'après J. Lepautre, qui respire au plus haut degré cet air de splendeur opulente qui semble appartenir spécialement aux créations artistiques de cette célèbre époque.

Joaillerie.—Ce ne fut guère que sous Louis XIV que la joaillerie acquit une certaine perfection dans l'exécution d'œuvres analogues à celles qu'elle crée de nos jours. Il

[1] Puget, l'un des plus grands sculpteurs des temps modernes, doit être placé immédiatement après Michel-Ange, pour l'ampleur de ses figures et l'énergique entente de ses beaux groupes.

[2] Claude Ballin fut le grand orfèvre du règne de Louis XIV; orfèvre et sculpteur, il s'inspira de l'étude de Poussin, et les vases de bronze de la terrasse de Versailles montrent quelle heureuse application il sut en faire. Pierre Germain, également célèbre, reçut directement l'impulsion de Lebrun. J. Lepautre, dont nous donnons un vase, fut le plus habile dessinateur d'ornements.

n'y avait pas très-longtemps que les pierres et notamment les diamants (dont la taille fut perfectionnée vers 1745) entraient dans la toilette des femmes, qu'on faisait d'autres


Vase de J. Lepautre.

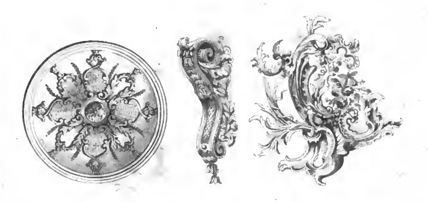
œuvres que des bagues d'évêques, ou des objets servant au culte. Le célèbre Cardillac, notamment, produisit de très-beaux ouvrages, dont les portraits et les peintures de l'époque peuvent nous donner une idée.

STYLE LOUIS XV.

La sculpture, sous Louis XV, recherchant avant tout l'élégance, tomba dans la mignardise et l'afféterie; ce sont surtout les œuvres les plus propres à orner les

boudoirs qui étaient recherchées et étaient préférées de beaucoup à des œuvres d'un caractère plus élevé, mais moins séduisantes. On ne peut toutefois contester aux artistes de ce temps une souplesse extraordinaire de main, une grande habileté d'exécution, une grâce singulière dans l'entente du sujet.

La sculpture décorative employa surtout les enroulements, les rocailles spéciales à



ce style. Nous en donnons ici quelques exemples, qui en rappellent les variétés nombreuses.



En parlant des décorations peintes, nous rappellerons l'emploi fréquent des tableaux de Bouché, de Vatteau, qui étaient encadrés dans les moulures des panneaux de la boiserie des appartements.

Bronze.—Le bronze doré vint sous Louis XV remplacer les incrustations et occuper une bien plus grande place dans l'ameublement que le bronze statuaire dont l'aspect paraissait trop sévère. Aux pendules en marqueterie succédèrent les groupes en figures dorées, accompagnant le cadran, et les foyers se décorèrent de chenets, de garnitures très-riches.

Nous donnons ici un lustre d'après Oppenord, le grand décorateur de l'époque.

Comme modification du style Louis XV et indication du style Louis XVI, nous



Lustre d'Oppenord.

représentons un brûle-parfums qui indique assez bien les formes préférées de ce



Brûle-parfums Louis XVI.

style. Dans le bronze, il occupe une place importante; et à la fin du siècle dernier, le célèbre fondeur Gouttière produisit des œuvres justement célèbres. Ce fut l'inspirateur et le guide de la sculpture d'ornement sous Louis XVI, lorsque, fatigué du style Louis XV, on en revint, par une transition assez brusque, dans les mœurs comme dans les arts, à une simplicité presque austère, à une espèce de

froideur dans les formes et dans les ornements, qui dut paraître étrange quand elle détrôna les principes de l'école précédente.

Orfèvrerie.—L'orfèvrerie a montré durant cette époque les ressources multipliées que pouvaient offrir ses moyens d'exécution, en se prêtant à tous les caprices de la fantaisie, aux associations les plus bizarres dans la décoration que fit adopter l'école inspirée par le Borromini, et notamment du genre rocaille qui domina après que l'influence de Louis XIV et la tradition des travaux de Ballin eut été oubliée. Ce genre puisait ses inspirations dans les constructions en rocailles qui avaient commencé à figurer dans quelques jardins du XVIe siècle. L'Allemagne comme la France, Augsbourg et Nuremberg comme Paris, voulurent du rocaille, recherchèrent en tout la capricieuse ornementation de ce style. On trouve des pièces d'orfèvrerie du temps de Louis XV qui sont ravissantes de fantaisie et de caprice. Rien de régulier; des lignes ou des surfaces ondulées, contournées, insaisissables, indescriptibles.

Nous donnons ici un vase de ce style.



Vase Louis XV.

Bijouterie, Joaillerie.—Ce fut surtout la bijouterie qui créa des merveilles à l'époque dont nous parlons; elle fit d'admirables progrès pour seconder le luxe des toilettes des femmes. Originalité, délicatesse, variété, tels sont les mérites de ces produits. A la fin du règne de Louis XV les orfèvres étaient avant tout des bijoutiers; et sous le nom de « metteurs en œuvre » jouirent de certains privilèges accordés spécialement aux artistes.

Thomas Germain, dit M. de Luynes, fut le chef d'une école dont les ouvrages délicats, étudiés et d'un grand mérite d'ajustement, ressuscitèrent la bijouterie, en flattant avec grâce le goût frivole d'un temps de plaisir et de luxe. On vit alors des bijoux d'une extrême richesse composés dans le seul style qui fût admis alors, avec

toutes ses bizarreries, il est vrai, mais avec toute sa nouveauté et sa hardiesse : les montres, les châtelaines, les tabatières étaient couvertes de sculptures repoussées, émaillées, brillantes de pierreries; ce n'étaient que guirlandes, Amours, coquilles et rocailles contournées, ciselées en relief ou gravées, ouvrages peu classiques assurément, mais d'une composition aussi animée qu'elle était diverse, et parfaitement combinée pour déployer toutes les ressources du talent d'artistes maintenant inimitables. Le piqué sur écaille, formé de petits clous d'or réunis en dessins, était emprunté à la Chine, dont l'art européen ne dépassa jamais les prodiges d'adresse et de patience.

Sous Louis XVI, la bijouterie moins productive devint froide et avare d'ornements. Comme dans les autres arts, l'exagération que l'on répudiait fut abandonnée pour suivre une voie tout opposée. Les plus beaux bijoux étaient ornés d'émaux unis et transparents, bleus, gris de fer, opalins; les boîtes en écaille noire, doublées d'or, étaient ornées de portraits ou de miniatures sur vélin. La bijouterie courante se composait de médaillons en losange avec des gouaches sous verre, entourés de perles, ou bien de colliers à plaques réunies par des chaînons polis.

STYLES ÉTRANGERS.

Les Orientaux ne représentant jamais en relief le corps humain, les animaux, car cela leur est interdit par la religion de Mahomet, n'ont pas de statuaire; mais ils recherchent le luxe de l'orfèvrerie et des pierres précieuses, qui semble tout à fait convenir à l'éclat des décorations de l'Orient.

Parmi les produits remarquables de ce genre, nous citerons en premier lieu l'ornement des armes, luxe principal de ces nations belliqueuses au temps de leur splendeur. Nous en donnons un exemple curieux dans la représentation d'armes des Mameluks, ces souverains de l'Égypte. Nous reviendrons plus loin sur cette question en suivant, au sujet de l'emploi fait aujourd'hui des procédés pour damasquiner et autres qui nous viennent de l'Orient et de l'Inde, le savant rapporteur de l'Exposition de Londres, M. le duc de Luynes.

La statuaire paraît peu développée chez les Chinois et les Indous; nous ne connaissons leur art que par d'affreuses pagodes, ou des figures de peu de valeur. Il n'en est pas de même de l'orfèvrerie chez ces derniers, l'Exposition de 1855 nous en présente des échantillons remarquables; on sent que les moyens d'exécution sont peu avancés, mais le goût d'ornementation est toujours extrêmement remarquable.

On doit surtout remarquer les filigranes, genre de bijouterie exécutée avec des fils d'or ou d'argent, qui est né dans l'Inde et s'est propagé dans l'Orient. Ainsi l'exposition a montré des boîtes, des paniers, des bijoux en filigrane, couvert d'étoiles, de rosaces, d'ornements de tout genre. C'est le bijou fabriqué à profusion par les industrieux ouvriers chinois, qui savent le fabriquer depuis bien des siècles avec une rare perfection. Le travail matériel ne laisse rien à désirer; les soudures sont parfaites, et ce n'est pas un petit mérite, car le bijou en filigrane présente beaucoup de



difficultés sous ce rapport; la légèreté de ces produits est si extraordinaire que c'est à



Armes des Mamelucks.

peine si de nos jours on peut en approcher. Malheureusement tous les bijoux chinois pèchent essentiellement par la forme, par l'ornementation, par le goût. Les Génois exécutent aussi depuis longtemps d'une manière remarquable, sous le rapport du travail matériel, les bijoux en filigrane, mais on doit leur adresser le même reproche qu'aux Chinois : ils manquent de goût et de variété.

Le filigrane proprement dit est un bijou dont l'ornementation est exécutée au moyen de deux fils d'argent ou d'or, très-fins, tordus ensemble de manière à imiter une corde d'une grande ténuité. A l'œil nu, cette corde semble être un fil gravé. On contourne ce fil à l'aide de tenailles de diverses formes, et de différents autres outils que l'ouvrier invente à chaque instant, et l'on parvient à former ce travail merveilleux



Bijoux en filigrane.

par sa délicatesse, dont nous plaçons un dessin sous les yeux de nos lecteurs.

En France, au lieu de laisser le « filigrane » proprement dit faire tous les frais de l'ornementation, aussi bien que de la charpente du bijou, les artistes français ont appelé à leur aide les ornements brunis, les émaux, les ors de couleur, le guilloché, la gravure, les dessins de toute nature; aussi ils sont arrivés à embellir, à varier de tant de manières ce bijou, que partout on le préfère maintenant, quoiqu'il soit encore un peu moins léger que celui des Génois et des Chinois.

ÉPOQUE ACTUELLE.

L'époque actuelle s'est repris pour la sculpture d'une passion justifiée par les œuvres remarquables qu'elle a vu naître. Thorswaldsen, Schwantaler, Rauch en Allemagne, Canova, Pradier en France, ont, entre autres artistes, produit depuis le commencement du siècle des œuvres d'un grand mérite, et ont, à bon droit, passionné leur concitoyens.

Nous ne pouvons nous arrêter à une étude de l'art de la sculpture, qui offrirait un bien grand intérêt, mais qui exigerait des études toutes spéciales; elle nous ferait d'ailleurs sortir des sphères plus modestes de l'art industriel. Ce serait déjà un travail considérable que d'énumérer seulement les œuvres les plus remarquables des sculpteurs



Sapho de Pradier.

modernes qui se distinguent par un beau sentiment de calme et de grandeur, comme la Madeleine de Canova, le lion de Lucerne de Thorswalden, cette image

de la dignité dans la mort, ou celles qui représentent la force ou la joie ; le danseur napolitain de Duret, ou le tueur d'aigles de Bell, que nous montre l'Exposition de Paris. En face de cette grande tâche, qu'il nous est impossible d'aborder, nous ne donnerons ici qu'un bel échantillon de sculpture moderne, la dernière œuvre justement célèbre de Pradier, ce grand sculpteur que la France a récemment perdu.

Si nous passons maintenant à la sculpture décorative, nous dirons qu'à l'époque actuelle on en est revenu à l'emploi presque exclusif des moulures, bandeaux, genre en rapport avec le mobilier. Ce n'est que dans des cas rares que la sculpture est appelée à orner les murailles à l'aide de sculptures, et encore est-ce le plus souvent à l'aide de dressoirs ou meubles plaqués sur celles-ci que l'on obtient cet effet. Toutefois le carton-pierre vient quelquefois provoquer l'emploi de la sculpture pour l'ornementation de grand luxe. C'est ainsi que M. Cruchet a décoré récemment le salon de Bade avec une richesse qui a quelque chose de féerique.

En général aujourd'hui, c'est le luxe des glaces, des tentures, des tapis qui brille dans les intérieurs, genre de décoration qui répond au grand nombre de fortunes de second ordre, et au petit nombre de fortunes princières de notre société; au reste, cette question de décoration ainsi posée, rentre dans l'emploi des couleurs dont nous parlerons plus loin.

Enfin nous devons parler ici des imitations d'objets naturels, des fruits, par exemple, à l'aide de cire et du carton-pierre, mais surtout des fleurs à l'aide des étoffes et du papier. La fabrication des fleurs artificielles, qui fournit un élément si gracieux de la toilette des dames, est devenue une importante industrie parisienne[1].

BRONZES[2].

L'industrie du bronze a pris en France une très-grande extension, qui s'explique par le développement de l'art statuaire, le goût de nos ouvriers pour ajuster les diverses parties fondues séparément, pour ciseler et réparer les imperfections de la fonte. Tous les chefs-d'œuvre de la statuaire ont été réduits pour fournir des ornements d'un goût pur ; une foule de sujets de petite dimension ont été modelés par

[1] C'est d'Italie que vinrent les premières fleurs artificielles employées à la toilette des dames et à la décoration des appartements. Il y a environ un siècle, s'établit à Paris Séguin, natif de Mende en Gévaudan, véritable artiste qui avait étudié la botanique et qui s'appliqua le premier à copier scrupuleusement la nature dans l'imitation des fleurs. Ce fut vraiment lui qui dota Paris d'une industrie qui a pris tant de développement.

[2] Pour ce qui va suivre, nous ferons de nombreux emprunts au beau rapport de M. le duc de Luynes sur l'Exposition de Londres. Aussi bon juge qu'amateur éclairé et savant, M. le duc de Luynes a renfermé dans ce travail toute l'histoire de l'orfévrerie, de la bijouterie, des bronzes dorés depuis le commencement de ce siècle. Il paraît encore d'une manière brillante à l'Exposition de 1855, comme promoteur et collaborateur de plusieurs des plus belles œuvres que ces industries aient produites : l'épée ciselée par les frères Faunière, la Minerve en ivoire et or de M. Simart. Une industrie serait heureuse et fière de conserver toujours des juges de cette distinction.



nos artistes. Dans ce genre de créations le gracieux, l'agrément dans les motifs est surtout recherché avec juste raison ; la statuaire de si petite dimension ne peut guère, comme nous l'avons dit, se proposer un but plus élevé.

L'influence du procédé Collas, qui a mis en circulation d'excellentes réductions des chefs-d'œuvre de l'antiquité, doit être surtout citée aussi bien que celle de Barye, qui par une étude exquise de la nature a fait faire un pas immense à la reproduction des animaux.

Dans ce qui précède nous parlons surtout du bronze d'art qui conserve la couleur du métal; dans ce qui suit nous aurons plus souvent en vue le bronze doré, dont la fabrication moins artistique est, et surtout était plus spécialement il y a encore peu de temps, l'objet de l'industrie des bronzes.

C'est dans ce siècle, et surtout à partir de 1840, que l'art peut être considéré comme complet, grâce aux travaux antérieurs qui ont valu une juste réputation à Ravrio, Thomire, Denière, ceux-ci qui améliorèrent, en lui donnant une grande importance, la fabrication des petits bronzes qui tendait à renaître. Les artistes, devenus bientôt beaucoup plus nombreux, trouvèrent dans leur imagination et leur talent les ressources nécessaires pour tenir en éveil la curiosité et l'intérêt des acheteurs. Une foule de petites pièces de décoration et d'ameublement furent mises, par leur bon marché, à la portée des fortunes moyennes. Le plus souvent leurs ornements appartenaient au style Louis XV, qui offrait de magnifiques modèles de pièces d'un grand éclat, donnant des produits d'un goût en général douteux et assez fréquemment mauvais[1]. Nos meilleurs fabricants cherchèrent à contenir le goût public soit en lui offrant, à un prix modéré, de belles choses, même dans le style qu'il préférait; soit en excitant sa fantaisie par des travaux ornés et variés, d'un caractère nouveau et curieux à la fois.

Si maintenant nous passons en revue les œuvres remarquables en bronze qui ont paru aux dernières expositions, nous citerons :

M. Vittoz, qui exposa à Londres une pendule dite « les Heures du Jour, » ornée d'Amours (en bronze) sur un nuage et reposant sur un socle en marbre blanc. Le style Louis XVI y était observé avec beaucoup de goût.

M. Matifat fit remarquer une coupe de vieux Sèvres avec sa belle monture en bronze doré. Nous avons donné à l'article *Céramique* un exemple du mélange de porcelaine et de bronze doré qui est assez à la mode, et que Sèvres paraît adopter pour les pièces de grande dimension.

M. V. Paillard avait exposé une grande pendule avec candélabres dorés, style de la fin du règne de Louis XIV, et des flambeaux Louis XV à fût tordu et pied orné d'écussons.

A l'Exposition de 1855, pour l'application industrielle la plus importante, pour la pendule, il n'y a que peu de travaux à citer en bronze doré; celui-ci cède la place au

[1] Destinée à satisfaire les velléités de luxe de bien des modestes fortunes (la division des fortunes est le caractère principal de notre société, celui qui réagit le plus puissamment sur l'art industriel à notre époque), l'industrie des bronzes, se ramifiant dans une infinité de petits ateliers, produit des pièces d'un goût douteux; le véritable progrès, celui qui, au reste, se réalise chaque jour grâce à l'épuration incessante du goût, consiste à faire entrer de plus en plus l'art dans la fabrication sans trop renchérir les produits.



bronze d'art placé sur un socle qui semble dissimuler le cadran de la pendule. C'est un résultat que l'Exposition démontre bien clairement. Tandis qu'elle offre quantité de magnifiques bronzes, il n'y a pas d'œuvres vraiment remarquables en bronze doré pour les garnitures de cheminée; il y a au contraire de beaux produits de ce genre pour décorer des meubles style Louis XVI (voir plus haut le meuble de M. Grohé, dont les bronzes ont été obtenus en galvanoplastie par M. Christofle), pour orner des cheminées du même style; enfin il est la base de magnifiques lustres de grandes dimensions.

L'industrie des bronze est toute française et toute parisienne : rien de comparable ne se fait à l'étranger comme importance industrielle et comme goût; aussi la fonderie de bronze est devenue une des plus belles industries de la France; elle n'a pris dans aucun autre pays un développement comparable, et à l'Exposition universelle de Paris on a pu compter vingt fabricants français pour un fabricant étranger.

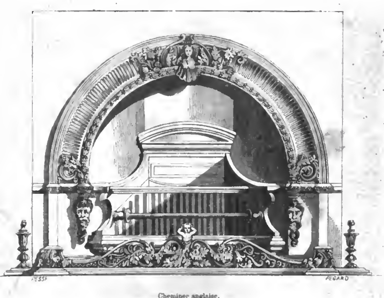
Fonte et zinc.—La fonte de fer, le zinc sont venus récemment prendre place dans la décoration, ce dernier surtout depuis qu'on a pu le recouvrir de bronze par dépôt galvanique et qu'on a pu le mouler dans des moules métalliques, c'est-à-dire de manière à faire disparaître pour chaque pièce isolée la dépense du moulage. De magnifiques fontaines en fonte de fer ornent aujourd'hui nos places publiques. A titre de spécimen d'un travail digne d'être considéré comme un des beaux produits de la



Amazone de Kiss.

statuaire allemande, nous représentons l'Amazone de Kiss, fondue en zinc par Geis, de Berlin, et qui a été justement admirée à Londres.

Nous citerons encore un produit très-estimé chez les Anglais, ce sont leurs belles



Cheminee anglaise.

cheminees de Sheffield, en fonte et acier, destinées à recevoir de grands feux de charbon de terre, et auxquelles ils donnent souvent des formes très-heureuses.

ORFÉVRERIE.

La révolution fit disparaître les belles œuvres d'orfévrerie; elles retournèrent à la Monnaie dans un temps où personne ne pouvait ni n'osait afficher de luxe, lorsque toutes les grandes familles étaient proscrites Aussi, lorsque sous l'Empire on voulut de grandes pièces d'orfévrerie, la France avait oublié ses propres traditions, et si elle parut en retrouver quelques débris, c'est parce qu'elle avait inspiré autrefois les modèles qu'elle adopta alors, les produits demeurés à la mode en Angleterre. Les orfèvres eurent aussi à imiter les procédés perfectionnés d'estampage que leur entente

de la mécanique et la prospérité de leur fabrication avaient fait adopter à nos voisins. A leur exemple, la fabrication française consista surtout dans l'application d'ornements estampés sur des pièces à contours gracieux.

Au commencement de l'Empire, Auguste, l'ancien orfèvre de Louis XVI, Odiot, Biennais, furent les orfèvres en réputation. Odiot surtout, nommé orfèvre de l'empereur, fut chargé de travaux considérables. Nous citerons comme exemple de ses compositions, le berceau du roi de Rome, pour lequel il fut aidé par Thomire, et dont les dessins furent fournis par Prudhon. Une élégante Victoire, à demi agenouillée sur un globe, dominait l'arcade du berceau et soutenait sur la tête de l'enfant impérial une couronne d'étoiles, d'où partait la draperie de dentelles qui servait de rideaux. Les génies de la Force et de la Justice étaient debout devant les pieds antérieurs et postérieurs du berceau, formés par des cornes d'abondance croisées.

Cette description permet d'apprécier le style de l'Empire dans les œuvres d'art; on cherchait l'imitation de l'antique avec quelque chose de l'inexpérience d'une génération qui avait conservé peu de traditions de procédés techniques, dans laquelle les artistes spéciaux, les ouvriers très-habiles étaient peu nombreux.

Sous la Restauration, la transformation qui tendait à se produire dans tous les arts se fit sentir immédiatement dans l'orfèvrerie. On ne faisait plus des imitations de l'antique, mais on conservait toujours les souvenirs classiques en cherchant plus de liberté et d'originalité. Fauconnier se distingua surtout à cette époque; non-seulement il produisit quelques belles œuvres dans le style classique, mais encore ce fut lui qui tenta les premières pièces d'orfèvrerie dans le style de la Renaissance. Ce fut dans son atelier que M. Barye fit ses premières études d'animaux, genre auquel il a su faire une si grande place. Il forma ses neveux, MM. Fanniere, dont nous allons rencontrer les beaux travaux de ciselure.

Dans ces dernières années, les orfèvres français les plus célèbres furent d'abord : M. Odiot fils, fidèle en général au goût anglais, à la riche orfèvrerie; M. Lebrun qui se distingue par un grand talent de ciseleur; M. Durand, et enfin M. Wagner, qui vint en 1830 remettre en honneur le repoussé, le procédé par excellence de l'orfèvrerie d'art, celui qui lui est tout spécial, et qui avait cédé la place aux procédés plus industriels de la fonte et de l'estampage. Au lieu de se borner à l'exécution de pièces utiles, Wagner accusa franchement la tendance des orfèvres de premier ordre à constituer un art complet, à créer des pièces ayant seulement une valeur artistique. Disons tout de suite que cette voie est périlleuse et que les orfèvres ne doivent jamais oublier les conditions toutes spéciales qui font de l'orfèvrerie un art industriel, ce qui ne veut pas dire qu'ils ne puissent produire des chefs-d'œuvre, mais seulement que ceux-ci sont d'une nature particulière, d'un autre ordre que ceux de la statuaire.

En 1839 parut pour la première fois à l'Exposition un grand artiste que la France vient de perdre, M. Froment-Meurice. A une grande valeur personnelle, à un goût sûr qui le portait à trouver autre chose que l'imitation des siècles passés, c'est-à-dire, l'originalité et un caractère propre à notre temps, il joignait les qualités organisatrices qui permettent la production rapide et excellente exigée aujourd'hui, et qui ne peut s'obtenir que par la réunion des efforts des collaborateurs les plus distingués. En effet, aujourd'hui, pour les œuvres de premier ordre, le concours des premiers artistes ciseleurs, émailleurs, est réclamé par les divers fabricants. Nous donnons ici

un vase mis par lui à l'Exposition de 1844, offert par la ville de Paris à un célèbre



Vase de M. Froment-Meurice.

ingénieur, et son chef-d'œuvre, l'admirable toilette de la duchesse de Parme, qui recueillit tous les suffrages à l'Exposition de Londres, et lui valut la grande médaille.

Ce morceau capital consiste en une table à pieds d'argent richement décorés; la surface de la table est en argent niellé de fleurs de lis, encadrée d'une bordure en acier gravé. Le miroir richement garni d'argent est flanqué de deux candélabres en forme de lis, soutenus par des anges portant les armoiries de la princesse. Des coffrets de forme gothique ornés de figures émaillées et polies, une aiguière et un plateau complètent ce bel ensemble, où les lis, les formes gothiques, rappellent avec la plus exquise délicatesse à la fille de nos rois les vieilles traditions françaises, et où la brillante décoration des émaux, des décorations de tout genre, brille d'un éclat tout moderne.

Nous compléterons nos emprunts à M. de Luynes, en citant parmi les artistes les plus éminents de notre époque, comme un maître complétement digne d'être mis en parallèle avec les maîtres de la Renaissance, M. Vechte qui exposa en 1847 au Louvre un admirable vase, exécuté au repoussé (procédé qu'il a amélioré par l'emploi de creux en bronze obtenus en fonte par le moulage du modèle à exécuter, pour pré-

parer et avancer le travail), dont l'ornement représentait le combat des Dieux contre



Toilette de la duchesse de Parme.

les Géants. Au sommet de cette amphore, et sur le couvercle, Jupiter, assis sur son aigle et tenant les foudres, va frapper ses adversaires; les Géants, armés de troncs d'arbres et de rochers, escaladent l'Olympe, se groupent en bas-reliefs sur la panse du vase, en ronde-bosse sous les anses; au pied, les passions de la Haine et de la Discorde se débattant, déjà renversées et frappées par les traits de Jupiter. Ce vase admirable a figuré à Londres, à l'Exposition de MM. Hunt et Roskell.

Ce qui précède montre assez clairement, ce nous semble, que l'orfèvrerie française tend, dans ses œuvres d'art, à se rapprocher de la Renaissance par la richesse des compositions, tout en leur donnant un cachet propre à notre époque. Dans la décoration pure de l'orfèvrerie de table, le style Louis XV tient cependant encore une assez grande place. Nous allons compléter cette revue en disant quelques mots des œuvres que nous offre l'Exposition de 1855, après un rapide examen des œuvres principales de l'orfèvrerie étrangère.

Angleterre.—L'Exposition de Londres a bien montré ce que nous avons déjà

nommé le « goût anglais. » Son ornementation est en général mal conçue, confuse et peu raisonnée, mais la forme même des pièces de vaisselle de table est commode pour l'usage, bien appropriée aux différents besoins du service; elle possède cette perfection de formes d'articles usuels, pour laquelle les Anglais, qui ont presque inventé la chose, ont inventé le mot « confortable. »

Les grandes compositions, dues à MM. Hunt et Roskell, les successeurs de Mortimer, qui possèdent la plus importante fabrique d'orfèvrerie et bijouterie du monde entier, offraient à Londres, au dire de l'excellent juge que nous continuons à suivre, avec de nombreux défauts de compositions trop chargées, l'indication d'efforts évidents pour sortir d'une mauvaise voie; comme chez plusieurs de leur rivaux, l'épuration du style se fait sentir et doit mener à une régénération assez prochaine du goût qui est l'aspiration de toute l'industrie anglaise. Ils tendent à transformer ces grandes pièces d'orfèvrerie avec force personnages en argent mat, qui sont tout-à-fait antipathiques aux ressources et à l'esprit de la bonne orfèvrerie, et qui sont cependant très-goûtées des Anglais pour leurs « testimonials. » Il faut dire que ces figures, ces arbres, ces végétaux et animaux, distribués sans pondération, sans beauté dans leur symétrie, sans grâce dans leur irrégularité, paraissaient souvent des jouets d'enfants plutôt que des objets d'art. On peut remarquer, dit M. de Luynes, dans tous les pays et dans tous les temps, que l'orfèvrerie et la fabrication des vases en terre cuite et en porcelaine suivent une marche à peu près identique et adoptent les mêmes formes avec une décoration du même genre. Les beaux produits de céramique du Straffordshire, notamment ceux de M. Minton, sont d'un heureux présage pour l'industrie anglaise.

L'exposition à Paris des produits de l'orfèvrerie anglaise confirme ces prévisions et elle montre, en dehors des œuvres hors ligne de M. Vechte, nombre de créations d'un très-bon goût. Les progrès accomplis en quelques années sont incontestables.

Allemagne.—En Allemagne, après Diugliuger, mort en 1731, l'orfèvrerie d'art cessa d'exister; le goût public s'attacha seulement à des ouvrages brillants, lustrés, très-finis dans leurs détails. Toutefois, la fabrication devint beaucoup plus considérable vers la fin du xviiie siècle, lorsque l'introduction de l'estampage rendit accessibles et à bon marché les produits de l'orfèvrerie.

L'imitation des procédés anglais fit adopter les formes anglaises, et encore aujourd'hui la mode s'attache en Allemagne à ce qu'on appelle le « genre baroque anglais. » Toutefois, de grands artistes dominent maintenant le goût public en produisant des œuvres qui ont un cachet artistique qui leur est propre et qui sont dignes du rang si élevé que la statuaire et la peinture allemandes occupent dans le monde des arts. On a beaucoup admiré à Londres une grande création de cet ordre due à M. Albert Wagner, qui formait la pièce principale d'un surtout de table.

Nous ne suivrons pas plus loin notre étude par pays. La Russie, où l'industrie des tissus d'or a été introduite par les Byzantins, en même temps que le christianisme; l'Italie, l'Espagne avaient exposé quelques pièces remarquables à l'Exposition de Londres. Ce grand spectacle, la première et si éclatante manifestation du mouvement qui tend à la fusion des nations, a montré chez la plupart d'entr'elles d'assez belles œuvres pour prouver que les grands artistes ne sont le privilège d'aucun pays.

On ne voit pas, à l'Exposition universelle de Paris, d'œuvres d'orfèvrerie d'un carac-

tère nouveau, de tentatives qui ouvrent une voie inexplorée; toutefois cet art s'y montre dans beaucoup d'œuvres très-brillantes.

Exposition de 1855. — Nous parlerons d'abord de l'orfèvrerie d'église, exécutée ordinairement à bas prix, mais avec une perfection médiocre. L'Exposition de 1855, entre plusieurs pièces remarquables de cette fabrication, en offre une tout à fait hors ligne : c'est l'autel de style gothique exécuté par M. Bachelet sur les dessins de M. Viollet-le-Duc, le savant architecte de Notre-Dame. Il est impossible de voir une étude plus satisfaisante du style de cette époque, de mieux faire valoir la richesse des fonds métalliques de grande étendue, parsemés d'émaux de couleur, d'où se détachent des personnages exécutés en bas-relief. Il n'est pas d'ornement plus satisfaisant pour une cathédrale gothique, rappelant mieux la splendeur du catholicisme au moyen âge.

Comme chef-d'œuvre de ciselure, tout le monde a admiré la tasse de M. Lebrun. Cette tasse en argent épais, fondu et ciselé, a la forme d'un tronc de cône dont la petite section forme la base : sur la panse on voit les armoiries du propriétaire, M. le baron de Mecklembourg, accompagnées de deux figures d'une charmante exécution et d'un travail exquis.

Nous citerons aussi le grand surtout de table de M. Cristofle, la pièce centrale représentant la guerre et le commerce, des chevaux et des bœufs, et au milieu le Génie de la France est une riche composition.

Comme œuvre d'orfèvrerie remarquable et bien étudiée, nous représenterons un thé (dit tête-à-tête) en argent poli incrusté d'or, dessiné et exécuté par M. Lecointe,



Thé de M. Lecointe.

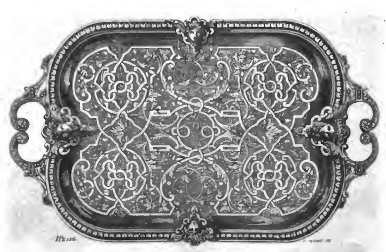
surtout connu par ses beaux travaux de bijouterie. Nous profiterons de ce qu'il nous a été donné de le dessiner en détail pour le reproduire intégralement et faire apprécier tout le travail, tout le goût nécessaire pour mener à bien un travail sérieux d'orfèvrerie.

Comme chef-d'œuvre de repoussé, c'est une œuvre de M. Vechte que l'on doit citer



Théière, sucrier.

au premier rang. Le grand bouclier dit de Shakespeare, dû à cet artiste, que l'on voit



Plateau du thé de M. Lecointe.

dans la vitrine de MM. Hunt et Roskell, les riches orfèvres anglais, représente le dernier degré de la perfection que le repoussé puisse atteindre.

Dans l'impossibilité de donner idée d'une œuvre où les compositions sont surchargées peut-être à l'excès, nous offrirons une œuvre remarquable due à la collaboration d'artistes d'un grand talent, le sabre de M. de Luynes, dont la composition ap-

partient à cet excellent appréciateur de l'art; dont les figures, la Victoire élancée placée sur la garde, ont été modelées par M. Klagmann, un des artistes qui ont le plus contri-



Sabre de M. le duc de Luynes

bué à donner aux produits de notre industrie un caractère particulier d'élégance; enfin dont le travail d'orfèvrerie est de MM. Fannière, artistes distingués qui ont travaillé à un grand nombre des pièces éminentes d'orfèvrerie d'art de l'Exposition de 1855.

BIJOUTERIE.

La bijouterie, disparue à l'époque de la révolution, se ranima lentement sous l'Empire; on voulut d'abord imiter l'antique qu'on connaissait mal, on visait à une simplicité qu'on croyait classique. Des anneaux, des colliers de corail, des serpents, des scarabées, des camées constituaient les principaux bijoux.

A la fin de l'Empire, vers 1815, on commença à orner les bijoux en or mat de petits grains d'or soudés les uns à côté des autres, qu'on appelait *le grainti*. Sous la Restauration, les gros cachets, les chaînes à grosses mailles, les breloques, les chaînes de montre pour les hommes; pour les femmes des bandeaux, des coiffures, des colliers, etc., en or estampé, furent l'objet du travail des bijoutiers.

Ch. Wagner vint, en 1830, faire sortir la bijouterie française de la voie uniquement commerciale, pour lui donner une direction plus artistique. Il importa en France les nielles qui, accompagnées de ciselures, de dorures et d'émaux, donnèrent des effets extrêmement heureux. Il fit aussi des sculptures et gravures sur pierres dures très-remarquables, et ramena le goût public vers ces beaux et difficiles travaux.

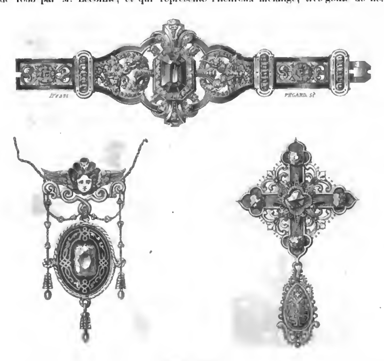
Froment-Meurice vint, après Wagner, prendre dans la bijouterie une aussi belle place que celle qu'il occupa dans l'orfèvrerie. Parmi nombre d'œuvres remarquables nous citerons le calice d'or du Pape, qui figurait à l'Exposition de Londres. La coupe était soutenue par des lis, des épis émaillés et des grappes de raisin en perles noires; sur le fût, « l'Ecce homo; » saint Joseph et la sainte Vierge en relief, séparés par des émaux représentant la Naissance de Jésus-Christ, la Présentation au temple et le Crucifiement; au pied, les trois Vertus théologales, ciselées en argent et en ronde-bosse, Abraham et Isaac, la manne et la Pâque.

MM. Marel, M. Morel, M. Rudolphi élève de Wagner, ont fait admirer des œuvres remarquables aux dernières Expositions. Nous parlerons de quelques-unes de ces œuvres et notamment de plusieurs remarquées à l'Exposition de 1855, qui montreront combien les procédés sont perfectionnés, combien peut obtenir de beaux résultats l'artiste capable d'aborder ces riches productions, encouragé par l'exemple de prédécesseurs qui ont obtenu de beaux succès en réalisant des fantaisies pleines de goût qui conviennent tout spécialement à la bijouterie.

M. Morel, qui s'est beaucoup distingué dans la bijouterie d'art, dans ces dernières années, avait mis à l'Exposition de Londres une riche série de coupes et de calices en matières précieuses ornées d'émaux. On remarqua notamment une coupe en agate orientale, dont la garniture en or se composait d'ornements émaillés et d'oiseaux de paradis; le balustre était orné de chimères émaillées en relief, entourant l'écusson. Le même artiste a mis à l'Exposition de Paris une magnifique coupe en jaspe, portant des figures émaillées, Persée délivrant Andromède. On comprend aisément toutes les difficultés d'une œuvre semblable et surtout de l'exécution de personnages en émail. Ce genre est adopté de préférence pour les œuvres de bijouterie d'art; c'est ainsi que M. Duponchel, aujourd'hui possesseur de la maison fondée par M. Morel, a exposé une coupe en cristal de roche, sur laquelle courent des émaux d'une grande finesse. Ces œuvres sont charmantes et exigent de l'émailleur un talent incroyable.

Malgré le mérite de bien grandes difficultés vaincues, nous croyons qu'un semblable travail dépasse bien souvent le but lorsqu'il se propose l'exécution de personnages entiers, tandis qu'il donne des effets ravissants quand il vient mélanger l'éclat des émaux colorés à celui de l'or, et que ceux-ci viennent se ramifier suivant tous les caprices de la fantaisie. Nous en prendrons pour exemple deux pièces émaillées que nous empruntons à l'exposition de M. Lecointe, l'un de nos plus habiles bijoutiers de Paris, savoir : une broche renaissance et une pendeloque qui rappelle le moyen âge, qui a quelque chose du style roman.

Nous donnerons encore un bracelet émail et pierres mis également à l'Exposition de 1855 par M. Lecointe, et qui représente l'heureux mélange, très-goûté de nos



Bijoux Lecointe

jours, des ressources de la bijouterie et de celles de la joaillerie, dont il nous reste à parler.

JOAILLERIE.

L'industrie qui a pour objet le montage et le sertissage des pierres précieuses a aujourd'hui un grand nombre d'éléments à sa disposition, parmi lesquels on doit distinguer, après les diamants : les corindons jaunes, verts ou blancs, les rubis, saphirs, émeraudes, bérils ou aigues-marines et topazes. On y joint les améthystes, les opales et les perles fines.

Depuis la moitié du xve siècle, les pierres précieuses ont été employées avec beaucoup de profusion. Les parures de diamants se transmettaient jadis dans les familles riches, et ce luxe continua sous Louis XV et Louis XVI.

Après la révolution, la joaillerie reprit un rôle important dans l'industrie; toutefois le goût des ornements laissait à désirer; toutes les montures étaient plates, c'est-à-dire sans pièces rapportées ou superposées. Sous l'Empire ce n'étaient que losanges, zigzags peu gracieux, grecques, etc. Ce n'est qu'à partir du temps de la Restauration que, les fortunes privées commençant à se reconstituer, on profita de nouvelles relations commerciales pour se procurer des cargaisons de topazes naturelles ou brûlées, d'améthystes et d'aigues-marines; toutes ces pierres de peu de prix étaient montées en grandes parures, dont l'apparence surpassait beaucoup la valeur.

Ce fut après 1830 que l'on adopta l'imitation des fleurs en diamants, et que les sertisseurs, employant beaucoup plus d'argent autour des diamants, en augmentèrent ainsi l'effet et la grosseur. La joaillerie gagna, sous le rapport de l'art et de la composition, une légèreté et une grâce qu'elle ne semblait pas devoir atteindre. La légèreté des montures dépassa toutes les limites et exigea chez les artistes une habileté de main incroyable. Les pierres étant souvent montées à l'extrémité de tiges métalliques, de parties mobiles toujours agitées, ces parures acquirent une extrême légèreté.

A l'Exposition de Londres, M. Morel a fait admirer un bouquet composé de rubis et de diamants, et représentant une rose, une tulipe et un volubilis, dont les fleurs avaient une forme naturelle et élégante. Mais ce qui excita surtout l'admiration,



Parure Lemonnier.

ce fut l'exposition de M. Lemonnier, formée des parures de la reine d'Espagne. Le

mélange de diamants, d'émeraudes et de perles pour représenter des fleurs et des feuilles était parfaitement entendu, et l'éclat de ces parures excitait l'admiration de la foule. Nous donnons ici la gravure d'une des pièces, composée de brillants à cœur de saphir, ornée de pendeloques, qui permettra de se représenter la légèreté de ce beau travail.

L'Exposition de Paris a montré que c'était dans la même voie que s'exécutaient les plus beaux travaux. Ainsi une rose exécutée en diamants par M. Froment-Meurice a été jugée une des plus belles œuvres que l'on pût admirer.

Si les joailliers français savent parfaitement atteindre le but que l'on doit se proposer dans l'exécution d'une parure, plaire et frapper les yeux et l'imagination, on ne doit pas passer sous silence les œuvres également très-brillantes de fabricants étrangers.

Au premier rang il faut citer les joailliers allemands et anglais, et parmi ces derniers, MM. Hunt et Roskell, qui avaient mis à l'Exposition de Londres des pièces d'un éclat et d'une richesse extraordinaire. Un bouquet de diamants représentant une rose, une anémone et un œillet était d'un éclat admirable. A Paris, ils ont exposé une parure en diamants et corail rose qui a enlevé tous les suffrages.

Il est fâcheux que les circonstances n'aient pas permis aux joailliers russes qui méritent une place d'honneur de figurer à l'Exposition de Paris. L'élément asiatique ou oriental du goût de cette nation lui a toujours fait rechercher le luxe des œuvres en métaux précieux, des productions enrichies de pierres précieuses. C'est ainsi qu'à l'Exposition de Londres, MM. Kaemmerer et Zeftigen, joailliers de la cour, avaient exposé, entre plusieurs œuvres remarquables, une berthe formée de bouquets de groseiller en diamants, avec leurs fruits en rubis cabochons suspendus de distance en distance sur une double rivière de diamants, et alternés avec des fleurons de brillants; l'effet en était excellent.

ANNEXES DES INDUSTRIES PRÉCÉDENTES.

Reliefs peu saillants. — Nous mentionnerons ici, comme étant du même ordre que les industries qui précèdent, et comme soumises aux mêmes lois, les sculptures peu saillantes, les gravures employées comme moyen de décoration; par exemple, le travail des camées, sculptures de petites dimensions faites sur coquilles; les cachets, médailles, pierres gravées, etc., les gaufrages et estampages des cuirs pour reliure.

Nous dirons d'abord quelques mots de cette dernière application, objet d'un véritable culte chez de nombreux amateurs. Les plus beaux effets de la reliure sont obtenus par deux procédés qui ne sont que des moyens mécaniques d'obtenir des gravures : les gaufrages par grandes plaques gravées qui rappellent de grands cadres, et les dorures par petits fers, résultat de la composition de petites vignettes, analogues à celles dont nous parlerons à l'article *Imprimerie typographique*. C'est rarement par estampage produisant un relief que les relieurs procèdent, c'est en général une



simple impression en or qu'ils produisent; cette question rentre donc dans l'étude des procédés de cette nature dont il sera traité plus loin.

Camées. — « Les anciens, dit M. Héricart de Thury, dont les chefs-d'œuvre en tous genres prouvent avec quelle perfection ils exerçaient et cultivaient la statuaire et la sculpture, nous ont laissé en agates, sardoines, onyx, jaspes, et autres pierres précieuses, des témoignages irrécusables de la haute supériorité à laquelle, dans les temps les plus reculés, était parvenue la lithoglyptique, l'art de graver les pierres dures en creux ou en relief, pour en faire ces précieux camées dans lesquels l'habileté des artistes savait profiter des accidents et des couleurs des pierres, pour produire les délicieux et charmants effets qui donnent une si haute valeur aux sujets, têtes, figures ou groupes représentés sur ces pierres, dont on voit de riches collections dans les musées de Rome, de Naples, de Paris, de Vienne, etc.

« Le prix élevé des camées, la rareté des agates onyx ou rubannées, leur dureté, la difficulté de répondre aux demandes des amateurs et des joailliers-bijoutiers, ont fait chercher, il y a déjà longtemps, les moyens d'imiter artificiellement les camées, et, après bien des tentatives, on a reconnu que la coquille marine « le grand casque des Indes orientales, » dont le test présente des couleurs blanches, roses, jaunes, brunes, etc., était la matière la plus favorable pour la confection des camées artificiels, cette belle substance étant par sa nature assez dure pour résister au frottement.

« Cette industrie a longtemps été exploitée avec succès à Rome, qui en fournissait les collections d'amateurs et tous les bijoutiers de France, d'Angleterre et d'Allemagne.

« D'après le succès des camées de Rome, quelques essais ont été tentés en France. Les plus remarquables furent ceux présentés aux concours ouverts par l'Académie des beaux-arts de l'Institut, sous l'Empire; mais bientôt les essais de nos artistes furent abandonnés, et les ateliers de Rome, de Florence, de Venise et de Naples continuèrent seuls à prospérer et à répandre partout les camées. Dans ces dernière années cependant, à la demande de quelques-uns de nos premiers bijoutiers, plusieurs jeunes graveurs ont tenté de nouveaux essais, en prenant pour modèles les plus beaux camées antiques, et les succès de quelques-uns d'entre eux ayant outre-passé leurs espérances, ils ont formé des ateliers de lithoglyptique. Ainsi, grâce aux efforts de MM. Michellini, Weiss-Muller, Lalondre, Salmsonn, etc., nous pouvons nous flatter de voir bientôt l'art de la gravure en pierres fines et pierres dures se relever parmi nous.

« Quant à la gravure des camées de coquilles, elle est aujourd'hui exercée en France avec le plus grand succès, et nous dirons même avec autant de talent et de perfection qu'en Italie. Ainsi les camées de MM. Albita-Titus, Reynaud, Lamant. Blanchet, de Grégory, Bertoux de Marseille, etc., soutiennent la comparaison avec ceux des plus habiles caméistes de Rome. »

Les camées français ont, du reste, dès ce moment, un avantage marqué sur les camées romains; ils sont sensiblement moins chers. Cette modicité de prix tient à l'introduction du tour à portrait dans cette fabrication; il permet de pousser rapidement, et à peu de frais, les ébauches jusqu'à un point extrêmement avancé; l'artiste n'a plus que le dernier fini à donner.

Monnaies et médailles. — La gravure des monnaies et médailles, comme celle des coins et poinçons qui servent à obtenir par estampage des ornements en métal destinés à la décoration des pièces d'orfèvrerie, consiste en une véritable sculpture

sur métal, qui ne diffère de la sculpture ordinaire que par les procédés techniques, dont nous n'avons pas à parler ici. Il faut tout le talent d'artistes fort distingués pour donner du charme à de petites compositions n'ayant qu'un faible relief, et qui sont d'une extrême importance, tant parce qu'elles sont destinées à rappeler à la postérité de grands événements sous forme de médailles, qu'à assurer, sous formes de monnaies, la loyauté dans les transactions.

Gravures en creux et en relief.—Nous devons dire ici quelques mots des moyens de décoration qui se rapportent à l'orfévrerie et à la bijouterie, et se rapprochent des procédés sur lesquels nous aurons à revenir plus loin.

La gravure est le moyen de décoration le plus général pour les métaux et les matières qui se travaillent avec les outils tranchants. Nous allons donner bientôt un curieux exemple de ce travail fait sur l'acier; le guillochage et la gravure pour les métaux précieux, les incrustations pour les métaux comme pour le bois, c'est-à-dire l'insertion dans des entailles convenables de substance différente de celle qui forme le fond, forment des moyens de décoration importants obtenus par des procédés qui consistent essentiellement en des gravures creusées dans la surface à décorer, en raison des dessins à obtenir. La question d'art, celle des lignes formées par ces gravures diverses, rentre dans les question de dessin dont nous allons bientôt traiter en détail. Nous ne nous y arrêterons donc pas ici. Il en est de même de la plupart des moyens de décoration dont il nous reste à parler.

Les nielles, formées par une incrustation de matière noire qui remplit une gravure en creux, donnent par suite des dessins noirs bien apparents; l'incrustation s'étendant par l'action chimique des substances incrustantes, produisent des effets très-heureux sur l'argent. Les nielles ayant plus de charme comme moyen de coloration que comme gravure, nous en traiterons en parlant des colorations et des émaux qui jouent un si grand rôle dans la bijouterie.

Décoration des armes. — Les hommes de tous les pays et de tous les temps, dit M. de Luynes, ont aimé les armes richement ornées; ce goût a été poussé plus loin en Orient que partout ailleurs. Les garnitures d'or et d'argent, les émaux, les pierres précieuses et de second ordre, les nielles et les filigranes, le repoussé, la ciselure, la dorure et l'argenture en feuilles, ont été prodigués sur les armes de luxe, et dans cette belle industrie, les Indiens, les Birmans, les Malais, les Persans, les Japonais, les Chinois, même les Géorgiens et les habitants de la Boukharie, héritiers du faste de l'antiquité asiatique, ont été et sont restés nos maîtres.

Plusieurs de ces moyens de décoration qui emploient d'une manière particulière la gravure et la ciselure comme procédés, sont restés spéciaux à la décoration des armes, ce sont : la damasquine, l'incrustation rasée et l'incrustation en relief. Nous parlerons ici des effets obtenus par ces mélanges de l'or et de l'acier.

Damasquine.—Le métal à damasquiner est haché finement dans les parties à décorer, et l'or refoulé sur ces parties chauffées y adhère très-fortement. C'est de Damas et surtout de l'Inde que nous viennent les pièces les plus remarquables. Cet art a été importé en Europe vers le XVIe siècle.

Incrustation rasée.—L'incrustation rasée est analogue à celle pratiquée dans l'ébénisterie. Le dessin gravé en creux profondément est rempli d'un fil d'or, qu'on y comprime fortement, puis la surface est polie. L'incrustation des métaux précieux

était, dans l'antiquité, une industrie appliquée non-seulement aux armes, mais encore à la statuaire et à l'ameublement. On peut voir au musée du Louvre de petites statues égyptiennes en bronze incrustées d'or; au musée de Naples, des statues et un candélabre de bronze incrustés d'argent; au musée d'artillerie de Paris, un glaive de bronze avec des filets incrustés de même métal. Ce genre de travail est fort bien exécuté par les Indiens, et, à leur exemple, par les meilleurs armuriers français. Il donne en général aux armes un caractère oriental.

La fonderie royale de Berlin avait exposé à Londres un curieux essai de rénovation de cet art antique, consistant en des candélabres de fer à filets d'argent. A l'Exposition de Paris, une statue ainsi décorée et sortant du même établissement, possède un cachet tout particulier qui rappelle les productions de l'antiquité.

Incrustation en relief.—L'incrustation en relief est une variété de celle qui précède. Au lieu d'araser l'or avec la surface, on le laisse en relief pour le modeler et le ciseler ensuite. Cet art est admirablement appliqué aux armes et à la bijouterie par les Japonais; il fleurit en Europe vers le temps de Henri IV. Après avoir été abandonné, il est porté aujourd'hui aussi loin que possible, et l'Exposition de 1855 a montré de curieux produits de ce genre dus à nos artistes armuriers.



PEINTURE

ARTS INDUSTRIELS QUI RELÈVENT DE LA PEINTURE

DE LA PEINTURE.

Après avoir parlé de l'Architecture et de la Sculpture, il nous reste à traiter de l'application à l'industrie de la partie des beaux-arts qui utilise le dessin et la couleur; de celle qui, dans sa plus complète expression, éveille en nous des sentiments particuliers, et nous conduit jusqu'à l'idéal à l'aide de l'imitation; en un mot de la peinture.

Nous avons déjà dit qu'il y avait, comparativement à l'autre art d'imitation, à la sculpture, une observation importante à faire. Tandis que l'industrie emploie dans le cas des applications de la sculpture toutes les ressources de l'art, que la liaison de l'industrie avec celle-ci est intime, puisque le moulage, en multipliant toutes ses productions, en fait des objets de commerce; que les besoins des arts industriels, de l'orfévrerie par exemple, exigent fréquemment des créations nouvelles et tout à fait artistiques; dans la peinture, au contraire, il existe une profonde séparation entre l'art et l'industrie. Sans doute, la peinture elle-même est employée avec toutes ses ressources pour la décoration, comme lorsqu'un appartement est orné des tableaux des grands maîtres, lorsque sur un vase de porcelaine un peintre habile peint une scène; mais il y a là emploi direct de la peinture, encadrement d'un produit artistique par des travaux industriels, il n'y a pas indnstrie. C'est lorsqu'on imprime du papier, des étoffes, suivant certains dessins et en certaines couleurs, avec un nombre de teintes limité (et l'on crée alors seulement des produits bien éloignés des œuvres de la peinture proprement dite), qu'il existe vraiment une industrie employant directement les ressources élémentaires de la peinture. Sans doute, il n'y aurait nul inconvénient à étudier en même temps les beaux-arts et les arts industriels; il serait même, sans

contredit, fort utile d'enseigner d'abord la science complète du peintre pour en prendre ce qui serait applicable à l'art industriel; mais, outre l'insuffisance de nos connaissances qui ne nous permettrait pas de l'entreprendre, ce serait sortir de notre cadre. Nous croyons inutile de partir de l'étude complète des procédés de l'art pour apprécier ceux de l'industrie, qui se tient dans une sphère plus modeste, les procédés aussi bien que le but à atteindre étant différents.

Insistons un peu sur une considération que nous croyons importante, et demandons-nous sur quoi repose la séparation dont nous venons de parler.

La peinture se fait, comme chacun sait, à l'aide de couleurs que le peintre mélange sur sa palette et qu'il dépose sur la toile avec son pinceau. Le résultat de toutes ces teintes combinées, de leurs superpositions et juxta-positions qui en changent l'effet, constitue le coloris qui donne les résultats si admirés de tous, sous la main des grands maîtres. Il résulte de la multitude d'éléments qui concourent à une œuvre si complexe, si difficile à analyser, qu'elle n'est évidemment imitable (même imparfaitement) que par un très-habile artiste qui appréciera tout le travail du maître, sentira tous les contrastes de couleurs, et pourra, par un travail opiniâtre et seulement en employant les mêmes procédés, tenter de repasser par le même chemin. Mais un semblable résultat peut-il être obtenu industriellement? Peut-il exister pour la peinture un procédé qui, comme le moulage, l'estampage pour la sculpture, permette de reproduire et de multiplier l'œuvre primitive de l'artiste? On peut répondre non, à coup sûr. Il est évident qu'il y a, dans chaque coup de pinceau, dans l'effet résultant de la superposition des couleurs, quelque chose d'inimitable que les procédés industriels ne peuvent donner, si parfaits, si ingénieux, si compliqués qu'on les suppose, sans jamais pouvoir admettre qu'ils atteignent à la combinaison indéfinie de teintes que le peintre emploie. Bien des essais tentés dans cette voie ont fait apprécier combien la solution complète du problème est impossible, comment on ne peut dépasser une imitation assez grossière, dès qu'on cherche à atteindre des résultats pour lesquels un certain nombre de teintes plates est insuffisant. En effet, c'est essentiellement par superpositions de teintes uniformes, successives, qu'opère l'industrie, même pour obtenir des dégradations; ce n'est qu'en opérant ainsi que le travail d'application de la couleur peut cesser d'être artistique pour devenir mécanique; mais alors ce n'est qu'avec bien des efforts et par la répétition à l'infini des opérations, que l'on parvient à des résultats quelque peu comparables avec ceux de la peinture proprement dite. Ce n'est pas pour décourager les inventeurs que nous faisons ces observations; nous voudrions plutôt qu'on y vît le mérite qu'il y a à surmonter, même incomplétement, les grandes difficultés qui s'opposent à la reproduction des œuvres d'art.

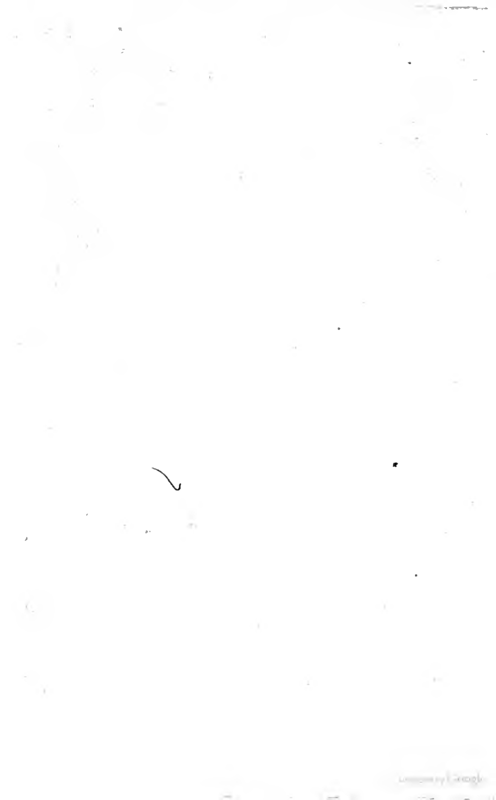
Cette condition, qui fait du produit de la peinture une œuvre unique, non susceptible de reproduction par un procédé du domaine de l'industrie, ne permet pas de considérer l'œuvre du peintre comme rentrant dans l'art industriel; c'est un produit des beaux-arts, et il n'y a pas à en traiter ici autrement que comme d'un objet d'étude, comme d'un modèle placé dans une sphère plus haute que le produit d'art industriel, comme fournissant les lois fondamentales des harmonies des lignes et des couleurs qui ne doivent pas moins guider la main du plus obscur ouvrier que celle du grand artiste, du maître le plus éminent qui se livre à des travaux d'un ordre plus élevé, d'une difficulté plus grande.

Ce qui rentre dans l'art industriel, c'est d'abord l'emploi de toute la première partie de l'art du peintre, du tracé, du dessin en tout genre, produit de manière à pouvoir être multiplié par un procédé technique. En second lieu, c'est l'emploi des couleurs multiples, et pour cet emploi, comme pour le dessin obtenu à l'aide d'une seule couleur, on utilise les connaissances acquises par l'étude, les recherches faites par les maîtres de l'art dans les conditions les plus complexes; mais des procédés plus simples que ceux qu'emploie le peintre ne permettent toutefois d'en utiliser dans ce cas qu'une partie assez minime.

Nous distinguerons deux catégories dans les produits dont nous aurons à traiter au point de vue de l'emploi des colorations, produits dont l'importance industrielle est considérable.

1° Ceux qui sont obtenus par l'application de matières colorantes, au moyen de procédés de même nature que ceux qu'emploie la peinture, c'est-à-dire en déposant des couleurs sur des surfaces convenablement préparées.

2° Ceux qui sont dus à l'assemblage d'éléments de couleurs et de formes diverses, de telle sorte que leur ensemble constitue un tableau composé d'un plus ou moins grand nombre d'éléments différemment colorés. Ce procédé est tout spécial à l'art industriel et fournit le moyen de décoration des étoffes, tissus brochés, tapis, etc. Il élève dans quelques cas les produits à une valeur artistique incontestable, qu'*à priori* on ne croirait pas possible d'atteindre par des moyens dont l'emploi semble si difficile.



SECTION V

APPLICATION DE COULEURS

I. DESSIN

Les procédés du dessin, de la représentation des objets à l'aide d'une seule couleur, se divisent en deux genres bien distincts, que nous retrouverons dans les divers procédés de gravure, qui ne sont que des manières spéciales de dessiner offrant l'avantage de fournir des moyens de reproduction à l'aide de l'impression.

Le premier consiste à représenter les corps par la seule imitation des effets do la lumière qui éclaire ces corps et nous les rend perceptibles à la vue. Le dessin à l'estompe, le lavis sont les types de ce genre de dessin qui s'attache, comme on le voit, à une production de teintes plates ou dégradées, à rendre les oppositions de parties brillantes et de parties obscures; en un mot, à reproduire l'apparence du corps éclairé par la lumière qu'il s'agit de représenter.

Le second procédé doit être considéré comme supérieur au précédent. Au lieu de représenter simplement, par une quantité convenable de noir déposé d'une manière quelconque, le ton de la lumière qui éclaire la surface d'un corps, on cherche à figurer par le tracé des lignes les plus propres à donner, en même temps que l'effet de la lumière sur le corps, l'idée la plus exacte de la forme, le sentiment des lignes de courbure auxquels les artistes attachent avec raison tant de valeur. C'est ainsi que s'emploient les hachures.

Monge, dans son *Traité de Géométrie descriptive*, explique l'intérêt de ses belles recherches sur les lignes de courbure des surfaces, par l'utilité de leur emploi pour le dessin. Il a prouvé que les lignes de plus grande courbure passant par un point d'une surface étaient toujours au nombre de deux et à angle droit entre elles. Par conséquent, pour chaque objet, et pour chaque partie de la surface d'un objet, il y a des contours de lignes, de hachures (formées sur la surface du dessin par la projection

d'un système de lignes de grande courbure) plus propres que tous les autres à donner une idée de la courbure de la surface, et ces lignes plus ou moins larges, plus ou moins rapprochées, produisent en même temps les teintes voulues pour représenter les effets de lumière. Les dessinateurs emploient ces deux systèmes de lignes, préférables à toutes les autres, lorsque, pour forcer plus facilement leurs teintes, ils croisent les hachures.

Après avoir établi les principes des modes de représentation des objets par le dessin, et avant d'en arriver à leurs applications dans les industries qui ont pour but la multiplication de ces représentations, nous allons étudier les lignes, les contours destinés à l'ornementation et qui offrent un grand intérêt au point de vue de cet ouvrage.

L'histoire du dessin en général, des enlacements des lignes, est impossible à présenter sous une forme systématique satisfaisante. Rien n'est plus capricieux, plus facile à varier que le tracé de quelques lignes, et la création du type original doit être réservée au domaine de l'art pur; toutefois il ne peut être douteux qu'aux diverses époques de l'art, les dessins qui plaisaient le plus aux yeux étaient d'un genre déterminé. C'est surtout pour l'ornementation qu'il en est ainsi; les éléments en varient moins, en effet, que la manière de représenter les objets et le mode de leur groupement; c'est là ce que nous allons chercher à indiquer en étudiant les contours de quelques motifs d'ornementation en eux-mêmes, c'est-à-dire tels que les reproduit l'industrie par l'impression en noir.

Nous passerons successivement en revue :

1° Les tracés et combinaisons géométriques, essentiellement immuables dans leurs éléments constitutifs, dont l'emploi ou l'exclusion peut seulement varier dans les divers styles.

2° Les dessins qui, sans être formés géométriquement et sans rappeler directement les formes des objets naturels, sont créés par les artistes et par suite varient suivant les styles. On les rencontre employés pour la décoration des produits industriels, notamment des édifices aux diverses époques de l'art. On en a vu un grand nombre dans les exemples donnés surtout en traitant de l'architecture, et reproduits à une échelle suffisante pour qu'on pût apprécier les détails de l'ornementation. Ces tracés sont soumis entièrement aux principes que nous avons indiqués en parlant du cas plus complexe des formes; c'est l'harmonie de leurs proportions qui en fait le charme. Bien que souvent créés par le caprice, plus souvent encore ils proviennent d'imitations altérées de formes naturelles dont on n'a gardé que l'esprit du contour, les harmonies linéaires. Ils ne représentent plus les objets, mais ils en ont conservé les proportions et le caractère; souvent, d'ailleurs, ils viennent se mélanger avec ces imitations dont il nous reste à parler.

3° Les dessins d'imitation d'objets pris dans la nature, de feuilles, de fleurs, etc., essentiellement produits par la fantaisie, rentrent dans l'art de la peinture; tout au plus peut-on les en séparer dans quelques cas où ils sont décoratifs plutôt que destinés à éveiller des sentiments. Cette partie est presque inséparable des couleurs; nous en traiterons brièvement ici pour y revenir en parlant des applications des couleurs.

Ce qui distingue essentiellement les deux premières divisions de la troisième, c'est que les éléments qui y sont compris sont nécessairement soumis à la répétition; de

simples entrelacements de lignes qui ne tendent pas à l'imitation ne peuvent être remarqués qu'en se répétant; ne peuvent conduire à l'harmonie ou permettre d'éviter la confusion qu'en satisfaisant à cette condition rigoureuse.

1° LIGNES GÉOMÉTRIQUES.

Nous avons à traiter ici des figures obtenues par des lignes droites et des combinaisons diverses de lignes droites. On doit y joindre les lignes circulaires, le cercle, courbe régulière par excellence, devant comme nous l'avons vu en parlant de l'architecture, être considéré comme ayant la même régularité absolue que la ligne droite.

Les lignes droites de largeur plus ou moins grande constituent un élément souvent employé isolément. Des réunions de lignes droites parallèles, d'écart régulier ou variable, de même largeur ou de largeur différente, se rencontrent fréquemment dans l'application. Des coins circulaires viennent souvent compléter ce genre de décoration simple, mais presque toujours les lignes se reploient en équerre; quelquefois de petits entrelacements rectangulaires viennent en faire partie, comme nous le montrons par des exemples empruntés à la typographie.



Une des dispositions le plus fréquemment employées est celle de lignes de largeur progressive allant successivement en se dégradant, comme dans la figure ci-contre.



Lorsque les lignes forment deux systèmes de lignes parallèles entre elles, elles

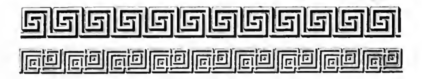


forment deux ou plusieurs systèmes de losanges, de rectangles d'étendue variable.

La figure représente une des dispositions les plus employées, un genre d'ornementation formée par des lignes de largeur et écartement variable se coupant à angle droit et qui, en couleurs brillantes sur étoffes, porte le nom d'écossais.

Lorsque les lignes ne sont pas réductibles à des systèmes de lignes droites parallèles, elles n'engendrent plus qu'un assemblage confus, si on les prolonge indéfiniment. Si on les suppose limitées à des polygones, la répétition d'éléments semblables, de petits carrés ou polygones divers, cercles, etc., forme un genre de décoration fréquemment employé en architecture, et qui entre pour une part importante dans le genre de dessins que nous allons étudier ci-après; nous reviendrons aussi plus loin sur cette question, en étudiant, à propos du parquet et de la mosaïque, les moyens de couvrir une surface donnée avec des éléments polygonaux répétés.

Lorsque les éléments ne sont pas nécessairement semblables, les formes irrégulières peuvent être variées à l'infini; mais les zigzags ont peu de charme, et ce n'est guère qu'en lignes courbes qu'on les applique à l'ornementation. Les décorations par parties de lignes droites réussissent parfaitement dans la grecque, dont le nom indique



assez l'origine, et qui est formée par des parties se joignant à angle droit. Ce système de décoration se marie très-heureusement avec les lignes rectangulaires de l'architecture grecque.

2° DESSINS VARIANT PAR STYLES.

La seconde série de lignes est celle qui, tantôt issue de la famille des lignes droites et circulaires, le plus souvent comprenant l'infinie variété des lignes courbes, en modifie l'emploi, les proportions en raison de tous les caprices de la fantaisie, ne reproduit pas les objets naturels qui les inspirent presque toujours, et se borne à emprunter seulement quelquefois à ceux-ci des contours généraux pour y puiser, en la faisant valoir, l'harmonie qui leur est propre.

C'est surtout dans l'architecture que nous trouverons un grand nombre de modèles de ce genre, qu'une foule de rosaces, de palmettes, d'ovales, fournissent des décorations nombreuses qui se mélangent souvent avec des lignes ondulantes affectant des mouvements gracieux de tout genre. Ces diverses combinaisons, ces éléments variés dont nous avons déjà reproduit bien des exemples dans les figures qui précèdent, se transforment et s'associent de différentes façons suivant les époques et les styles; au reste, ayant à les étudier en eux-mêmes, nous n'avons rien de mieux à faire que de

les suivre dans un cas où elles sont reproduites à l'infini comme ornements ; nous voulons parler de l'imprimerie et surtout de l'imprimerie typographique, qui, par la nature des procédés employés, produit avec facilité la multiplication identique des mêmes éléments et leur combinaison indéfinie.

VIGNETTES.

La typographie, en fixant d'une manière en quelque sorte indestructible chaque vignette une fois gravée, en en rendant la reproduction indéfinie, la vulgarisation certaine, grâce aux procédés de la fonderie, permet de les comparer, de les classer. Comme on a prouvé que les fables d'Esope, et par suite celles de Phèdre et de La Fontaine, découlaient de fables indiennes, de telle sorte que ce qui paraissait inventé nouvellement n'était bien souvent qu'un écho d'inventions qui dataient pour ainsi dire des premiers jours du monde ; de même on peut prouver que mille sujets de décoration qui semblent naître chaque jour sous les doigts de nos artistes et se répètent dans une multitude d'industries différentes, ne sont que des variations de types très-anciens, et que bien souvent les mêmes motifs diversement interprétés se retrouvent dans les diverses décorations. C'est pour cela que l'enseignement du dessin donne de si grands résultats, au point de vue de son application à l'ornementation ; il grave dans la tête de l'élève des éléments qui lui permettent, même avec des dispositions médiocres, de produire, par une sage interprétation, des compositions assez convenables dans un style déterminé.

Il y aurait là une série de recherches fort intéressantes à faire sur les éléments primitifs de l'ornementation ; on éviterait ainsi bien des mélanges hétérogènes qui déplaisent à l'œil exercé sans qu'il puisse s'en rendre compte. C'est que souvent deux vignettes qui viennent se placer à côté l'une de l'autre ont leurs types dans des styles tout différents, par exemple l'une dans l'art grec, l'autre dans l'art arabe.

Dans l'impossibilité de suivre tous les motifs d'ornements, d'entrelacements dans les diverses applications où ils se répètent ; dans les colonnes, les moulures de l'architecture, de l'ébénisterie, sur les vases de la céramique, dans les ciselures de l'orfévrerie et de la bijouterie, nous les étudierons dans quelques échantillons empruntés à une application spéciale, où le dessin seul est en jeu, dans la typographie. Nous en formerons une collection où l'on pourrait venir puiser, si elle était suffisamment complète, des motifs pour tous les cas et toutes les applications particulières.

Nous n'avons pas besoin d'insister pour faire apprécier toute l'importance, pour l'ornementation de tout genre de produits de l'industrie, de l'œuvre consistant à créer une importante collection de vignettes par styles et par époques, à l'aide des procédés définitifs en quelque sorte de la gravure en relief sur acier, de la fonderie en caractères et de l'imprimerie, dans laquelle on pourrait toujours trouver les éléments de décoration les plus convenables pour un style déterminé. Il faut de plus remarquer

que c'est surtout à la typographie que peut s'appliquer le plus complétement l'observation que nous avons faite en commençant sur l'utilité fréquente, dans l'industrie, de l'imitation des modèles fournis par les anciens styles, pour des œuvres relatives à des idées qui ont passionné les siècles passés. La typographie, reproduisant surtout les chefs-d'œuvre des anciens, ne peut employer pour les décorer convenablement que des ornements appartenant à l'époque de leur production, afin que les ornements soient toujours en rapport avec le texte de l'ouvrage.

Il est douteux que l'opération consistant à graver sur acier ce vaste ensemble ait des résultats avantageux au point de vue lucratif et que ce soit une œuvre qui puisse se faire rapidement avec les ressources de la seule exploitation commerciale; mais son intérêt n'en est pas moins considérable, tant parce qu'elle fournit la seule base logique de la belle ornementation de la typographie, que parce qu'elle permet surtout de vulgariser à l'infini les éléments essentiels de tout genre d'ornementation propres à être utilisés également dans toutes les branches du travail industriel. Nous en donnerons des exemples tant par des gravures spéciales qu'en empruntant à la *Fonderie générale*, qui a entrepris la réalisation de ce projet, les types de quelques genres principaux.

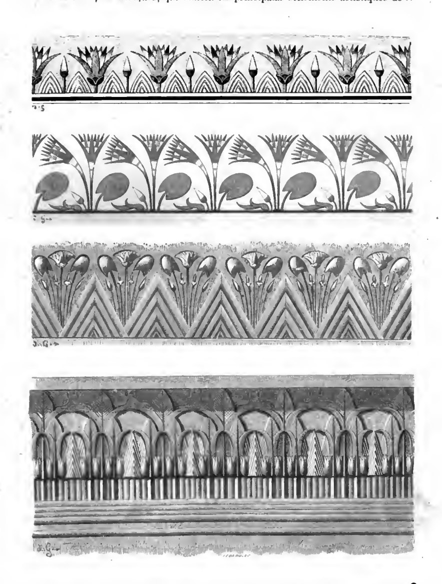
Nous traiterons surtout ici des vignettes ne rappelant pas d'objet déterminé et dont l'élégance est facilement sentie grâce à la répétition qui est une condition presque constante de l'ornementation industrielle, et rarement de quelques motifs fournis par des imitations de formes naturelles très-simples, qui, dans certains styles, constituent toute l'ornementation. Ainsi, dans la décoration du style ogival, la sculpture reproduit les végétaux de nos pays, et surtout le lierre, la vigne vierge; de nos jours, l'emploi des rameaux, des fougères, des fleurs et des fruits a été souvent multiplié comme se prêtant à de gracieux motifs Au point de vue spécial de la typographie, pour les encadrements, aussi bien que pour l'architecture, ils conviennent en général moins bien que ceux formés par des lignes combinées avec des œuvres qui tirent leur charme de l'harmonie de leurs proportions.

Pour ce qui est des sources où l'on peut trouver des types suffisamment authentiques, c'est surtout dans les œuvres des graveurs que l'on doit les chercher lorsqu'il s'agit d'époques qui ne sont pas très-éloignées de nous. Pour les époques antérieures, c'est dans les décorations de l'architecture, dans les produits d'art du temps qu'il faut les chercher, comme dans les vases étrusques pour le style grec, dans les ornements peints des momies égyptiennes pour le style égyptien.

STYLE ÉGYPTIEN.

Nous avons donné déjà les ornements des colonnes les plus riches que cet art ait produit. Nous ajoutons ici des exemples de répétitions de palmes, de feuilles et de

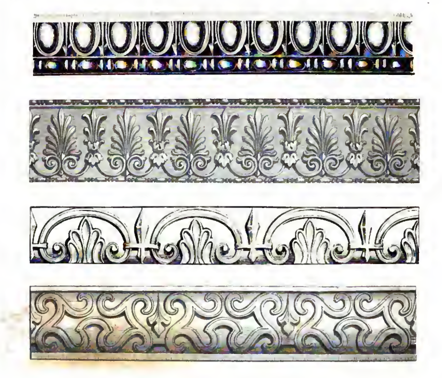
fleurs de lotus, de triangles, qui étaient les principaux ornements artistiques de ce



style conventionnel. Nous rappellerons ici que toutes les façades des temples égyptiens étaient couvertes d'hiéroglyphes qui parlaient à l'esprit plutôt qu'aux yeux.

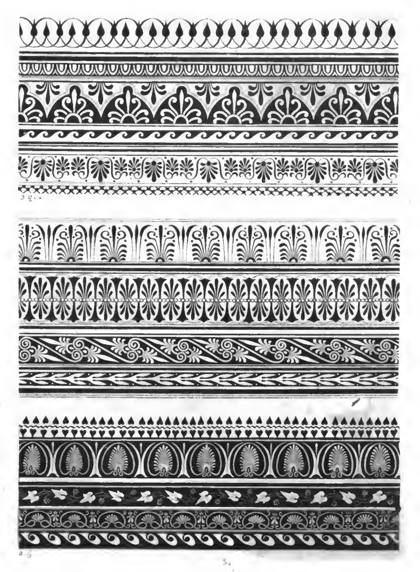
STYLE GREC, ROMAIN, ÉTRUSQUE.

Les ornements de l'architecture grecque sont surtout les oves, les palmes, les feuilles d'acanthe qui jouent un si grand rôle dans la colonne corinthienne. Nous reproduisons ces éléments. La palme du troisième ornement est empruntée à Herculanum comme la quatrième; cette dernière se rapproche de l'arabesque.



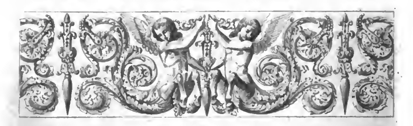
Il est une source plus féconde encore que l'architecture pour fournir à profusion des ornements grecs; ce sont les vases étrusques, campaniens qu'appréciaient tant

les Romains Ils y trouvaient le genre d'ornements se détachant sur fond coloré,



qu'ils préféraient à tout autre et qu'ils employaient fréquemment, notamment

dans les mosaïques. Les quelques exemples que nous rapportons ici montrent avec

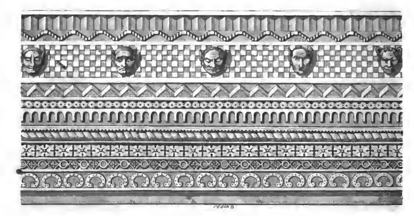


quelle profusion les artistes décorateurs employaient (aidés sans doute par des procédés de poncif) des méandres, des oves, des palmes, des feuilles, etc., etc.

La dernière vignette est un exemple du genre de décoration que l'on rencontre dans les édifices de l'époque la plus brillante de l'empire romain.

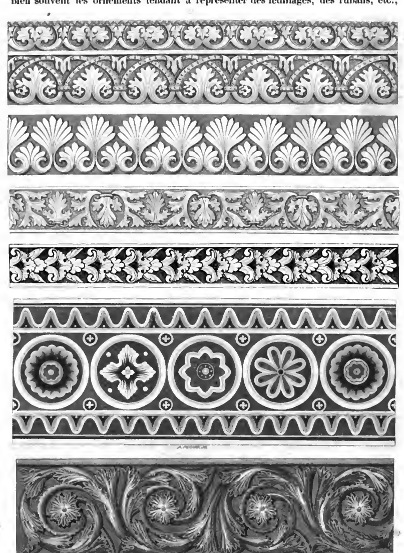
STYLE ROMAN, BYZANTIN.

L'ornementation du style byzantin-roman a pour cachet spécial la profusion de menus ornements tels que petits carrés, pointes de diamant, besans, étoiles, zigzags entrelacés. Cette decoration prend un éclat très-grand dans certains cas, tels que la mosaïque, les vitraux, dont nous parlerons plus loin, lorsque tous ces éléments multiples prennent des couleurs éclatantes. Nous reproduisons une vignette compre-



nant la plupart des éléments dont nous parlons ici. Toutefois ce serait une erreur de considérer le style roman comme borné à ce genre presqu'entièrement géométrique.

Bien souvent les ornements tendant à représenter des feuillages, des rubans, etc.,



Rinceau du XIIe siècle

prennent un cachet très-remarquable; les dernières vignettes, dont plusieurs sont empruntées à un habile dessinateur, M. Sagot, en donnent une idée.

STYLE GOTHIQUE.

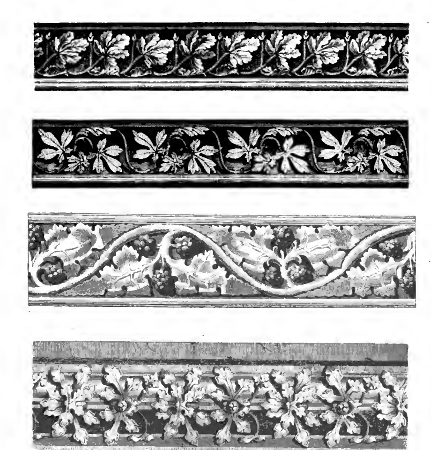
Nous avons dit déjà quelques mots, à propos de l'architecture gothique, des orne-





ments propres à ce style. La vigne vierge, le trèfle, le chardon sont souvent employés

comme décoration, et viennent se mélanger aux roses, aux flèches élancées, aux



découpures semblables à de la dentelle, qui se répètent dans les moindres produits comme dans les grandes constructions de ce style.

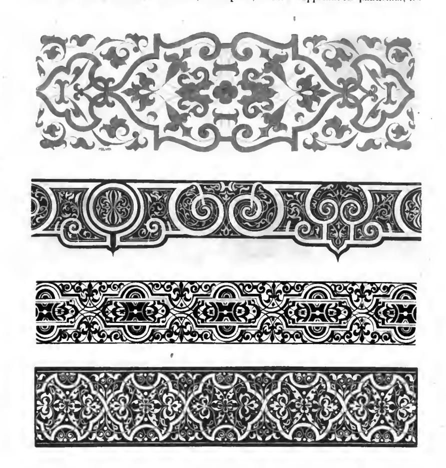
STYLE RENAISSANCE.

Les ornements de cette époque sont extrêmement variés, comme tous les produits de l'art dans cette brillante période de création artistique d'une admirable fécondité. On en trouve à profusion dans les œuvres des graveurs du temps. On doit remarquer spécialement des enroulements de tout genre, des ornements gris, blancs sur fond noir



(qui ont surtout été fréquemment répétés dans l'Ecole allemande); des formes rappe-

lant les enroulements des branches, du serpent; d'autres rappelant les panneaux, les



frontons coupés des constructions de l'époque. Les types sont ici variés à tel point qu'ils défient l'analyse, même en laissant de côté l'imitation des objets animés, qui ont été admirablement employés à cette époque comme moyen de décoration. Aussi les collections des graveurs de la renaissance sont-elles aujourd'hui les plus précieuses que l'artiste industriel puisse consulter. Grâce à l'invention de la gravure en taille-douce, faite à cette époque, elles sont heureusement en nombre considérable.

STYLE LOUIS XIV.

Les ornements du style Louis XIV consistent surtout en grands enroulements, en

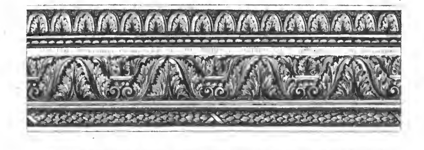






palmes d'un grand développement, seules ou mélangées avec des modèles d'ordre architectural, des médaillons, des trophées, etc. Nulle part plus que dans la dé-

coration variée de ce style on ne retrouve la pompe, le grandiose de cette époque.





Nous en rencontrerons plus loin encore plusieurs exemples.

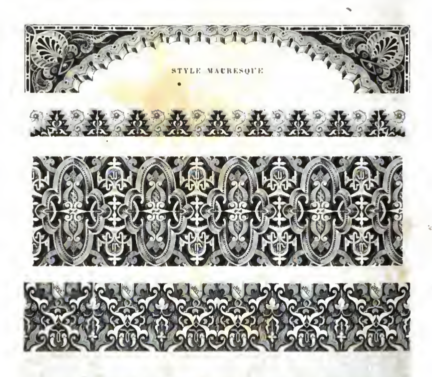
STYLE LOUIS XV

Nous avons déjà donné nombre d'exemples de la décoration de ce style. On peut établir comme son cachet caractéristique l'emploi tout nouveau des coquilles. Ainsi fréquemment, dans les rinceaux, les extrémités des feuillages contournés à l'extrême vers la fin de Louis XIV y furent réunies par des coquilles ou autres lignes inspirées par les contours de celles-ci.



STYLE ORIENTAL, — MAURESQUE, — PERSAN.

Les Orientaux ont multiplié les entrelacements de lignes dites arabesques, dont nous avons déjà donné des exemples très-brillants. Ces arabesques sont formées de lignes irrégulières qui s'enlacent sans autre loi que la fantaisie, en produisant des harmonies toutes spéciales que nous ne pourrions mieux comparer qu'à une variation de piano, à une vocalise. A ces lignes, produit direct du caprice et du goût de l'artiste, se mêlent des fleurs de l'Orient imitées plutôt des tissus que de la nature même, et enfin des inscriptions arabes en caractères qui, ayant des formes de même nature, s'y marient parfaitement.

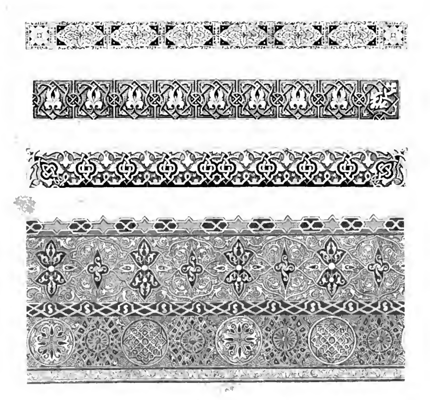


Les arabesques furent apportées d'Égypte et introduites à Rome dès le temps d'Auguste et de Mécène, comme nous l'apprennent Vitruve, Apulée et Claudien.

Vitruve s'éleva vivement, mais infructueusement, contre ce genre nouveau qui lui paraissait contraire aux principes de l'art, autant qu'au but moral qu'il doit se proposer, les arabesques offrant des dessins de fantaisie, et non des imitations exactes de créations de la nature.

STYLE PERSAN.

Les Persans occupent une très-grande place dans l'ornementation orientale, soit à cause de leurs traditions propres, soit à cause de leurs relations avec l'Inde. Les vignettes que nous donnons ici sont empruntées à des modèles originaires de la Perse et nous paraissent bien montrer la richesse de ce style.



ÉPOQUE MODERNE.

La décoration de l'époque moderne puise ses éléments dans tous les styles antérieurs, comme l'industrie y cherche ses modèles pour les diverses fabrications. Il serait difficile de préciser les voies que suit la fantaisie par quelques échantillons peu nombreux; toutefois, on peut dire que le souvenir de bien des décorations de la renaissance se retrouve fréquemment dans l'ornementation moderne, mais avec une interprétation différente. On peut faire rentrer dans cette division assez bon nombre des exemples qui suivent





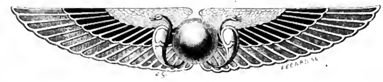
On doit aussi noter l'imitation assez fréquente des fleurs, rameaux, etc., dont nous donnons ci-dessus un exemple, et qui, comme nous l'avons déjà dit, convient peu au cas plus particulièrement considéré ici, à la typographie.

3° DESSINS D'IMITATION D'OBJETS ANIMÉS.

Les dessins formant un tout plus complet, ayant une signification plus précise que les vignettes précédentes, qui ne se multiplient pas par des juxtapositions, au moins le plus souvent, ont bien un cachet d'époque en ce sens que la manière d'employer les éléments de décoration obéit à une loi déterminée; mais ces travaux varient complétement en raison du goût de l'artiste et des objets à représenter. Nous n'avons pas à nous y arrêter longuement, car nous arrivons aux limites que nous avons dû nous poser, et la question, dans toute sa généralité, rentre dans l'histoire de la peinture, dont toutes les ressources sont souvent employées pour produire l'ornementation.

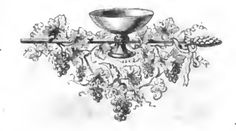
Cependant à plusieurs époques, de petites compositions souvent répétées méritent une mention spéciale, car elles occupent une part importante dans la décoration.

Ainsi le Scarabée sacré, figure emblématique des Égyptiens, se retrouve sur les enve-

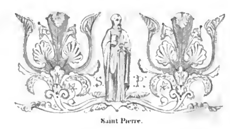

Scarabee égyptien

loppes des momies, comme il fait partie de la décoration des temples.

Les Grecs et les Romains nous offrent une foule de sujets analogues à l'espèce de trophée de vendanges que nous donnons ici.



A l'époque byzantine, des saints, la tête garnie d'auréoles, se rencontrent fréquemment.



Saint Pierre.

A la renaissance, les syrènes, les animaux fantastiques de tout genre, les nymphes, les naïades forment la base de décorations élégantes dont on va voir un exemple.

C'est principalement dans l'œuvre de décoration si magnifique et si célèbre à juste titre des accessoires dits arabesques du Vatican (nous en donnerons plus loin un échantillon), que le génie de Raphael, inspiré avec tant de bonheur par les riches matériaux, les débris de fresques antiques trouvés dans les fouilles de Rome, réussit à réaliser tout un système de combinaisons les plus audacieuses et les plus heureuses.

Ce curieux assemblage de figures, d'animaux chimériques, d'euroulements; ce dévergondage raisouné de l'imagination produit, grâce à un harmonieux enchaîne-



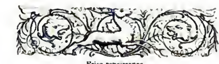
Sirènes.

ment, des effets tellement bien cadencés, que l'œil ne peut se lasser de les étudier, le talent d'y puiser d'excellents modèles. C'est l'exemple du développement le plus complet de la fantaisie. Nous donnerons, comme rappelant quelques ornementations



Cadre renaissance

de cette époque, deux dessins, l'un qui représente un encadrement, l'autre une frise, qui rappelle les décorations du Primatice.



Frise renaissance.

Dans le style Louis XIV, les trophées de tout genre se répètent à l'infini, trophées d'armes en général, qui, sous Louis XV, deviennent des trophées de houlettes, de tambourins, etc.

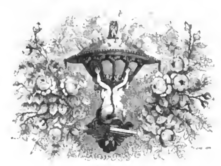
Quant à l'époque actuelle, il est impossible, au milieu de la multitude indéfinie de décorations qui sont engendrées par nos artistes, de tous les croquis auxquels leurs

crayons donnent naissance, d'indiquer le genre des petites créations que le goût moderne sait multiplier. La profusion de fleurs est un des caractères les plus communs,



Trophee Louis XIV.

et nous donnons ici un brûle-parfum sur fond de fleurs qui represente bien ce genre élégant d'ornementation moderne.



Brûle parfums.

En dehors de ces petits sujets, les représentations de scènes animées, les ensembles plus complets, l'éveil des sentiments à l'aide de l'imitation, c'est l'art, ce n'est plus l'industrie : le but, les moyens d'action, les ressources, tout est différent.

Ce n'est, en général, que combinées avec des couleurs, que l'industrie emploie fréquemment les ressources de l'art, les imitations pour la décoration ; nous y reviendrons en traitant des colorations. Il s'agit ici de l'intercalation d'un produit d'art dans un produit industriel, et non de la simple création de celui-ci. Toutefois il est une limite déjà fort reculée, en deçà de laquelle l'industrie atteint à une reproduction parfaite : c'est quand on se propose seulement la reproduction du dessin par plusieurs procédés que nous allons passer en revue, en commençant par nous placer au point de vue de ce qu'on est convenu d'appeler l'illustration. Cette question doit intéresser le lecteur, à qui ce livre offre un exemple de toutes les ressources que fournit la gravure en relief pour multiplier à l'infini le nombre des épreuves.

GRAVURE EN RELIEF.

Dans la gravure en relief, on creuse, par un moyen quelconque, toutes les parties qui ne sont pas recouvertes par un dessin tracé sur une substance convenable. Cette substance est l'acier pour la typographie, le bois pour les illustrations, le cuivre dans quelques cas où une finesse et une résistance intermédiaires entre celles du bois et celle de l'acier est convenable, et pour quelques procédés dans lesquels on a cherché à remplacer plus ou moins imparfaitement le travail du graveur par l'action des acides pour produire des reliefs. Nous laisserons ici la parole à M. Pégard, l'artiste qui a dirigé l'exécution artistique de cette publication. (Extrait du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*.)

« Le rôle de chacune des gravures en relief est bien distinct : la gravure sur acier, plus lente et permettant des retouches multipliées, convient bien pour la gravure des lettres, des vignettes, des traits d'écriture ayant des parties d'une grande finesse, quand même l'obligation de frapper des matrices en cuivre ne ferait pas une nécessité de la gravure sur acier. En effet, la résistance de la matière sur laquelle on grave fixe la limite de la ténuité des fins; et il est bien évident qu'on pourra amener les traits d'une partie saillante d'acier à un degré de finesse, auquel on ne pourrait amener un bois sans risquer de l'égrener. De son côté, la gravure sur bois bien plus hardie, bien plus rapide, a permis de faire entrer dans l'impression des ouvrages de luxe des figures, qui, tirées en même temps que le texte, en facilitent singulièrement l'intelligence, sans en augmenter démesurément la valeur. Le présent ouvrage en est un exemple.

« La gravure sur bois fut inventée ou introduite en Europe vers le commencement du XVe siècle (1390-1430) : il y eut à son apparition un grand cri de douleur et de scandale parmi les amis exclusifs de l'art. On était arrivé, à cette époque, au plus haut degré de perfection dans la miniature et dans l'écriture. Les Bibles étaient ornées de petites peintures fines, où resplendissaient les plus riches couleurs; les lettres, les mots, les lignes élégamment dessinés sur la chair délicate du parchemin semblaient vraiment vivre et parler aux yeux. Les cartes, inventées près d'un siècle avant, sous le règne de Charles VI, n'étaient pas moins admirables ; mais les livres de dévotion et les cartes étaient rares, hors de prix, et seulement à l'usage des communautés religieuses, des châteaux et de quelques riches habitants des villes. Tout à coup on vit se répandre avec profusion, dans la bourgeoisie et parmi le peuple, de grossières images de saints rudement esquissées, aux figures contournées et barbares ; des rois, des reines de cartes grotesquement croqués et dépouillés de leurs

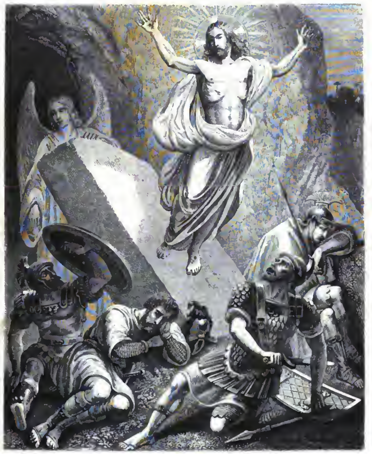
éclatantes robes; c'était la gravure sur bois qui faisait descendre l'art à la portée du plus grand nombre. Bientôt des légendes imprimées à l'aide de lettres taillées en relief, comme les figures sur les blocs de bois, accompagnèrent les gravures pour les expliquer, et de là le besoin de la lecture, se propageant peu à peu, mena insensiblement à l'invention des caractères mobiles, et, enfin, à l'imprimerie perfectionnée, qui commença pour la popularité de la science la révolution que la gravure sur bois avait commencée pour la popularité de l'art.



Vierge (gravure en fac-simile).

« La gravure sur bois, consacrée jusqu'alors à des représentations grossières, devint cependant un art entre les mains d'Albert Durer, né en 1471 à Nuremberg. Ce grand artiste, ami de Raphaël, grava des planches d'une admirable beauté; son estampe de la « Mélancolie, » ses « Vierges » font toujours l'admiration des artistes.

« La France a possédé quelques artistes distingués qui se sont livrés avec succès à ce genre de gravure : tels furent Joliet le Suisse, l'Allemand Businck, Boutemont, les Lesueur, et en dernier lieu les deux Papillon. Depuis 1760, époque à laquelle vivait le dernier de ces artistes, la gravure sur bois, pratiquée par des artistes de peu de mérite, fut peu estimée. Elle se faisait sur bois de fil, à l'aide de pointes tranchantes, procédés qui se prêtaient mal à l'exécution de sujets de gravure très-fine, comme doivent être ceux à intercaler dans les livres pour les éditions de luxe. Son emploi



Resurrection (gravure classique).

diminuait chaque jour, lorsque Thompson introduisit en France, vers 1815, la nouvelle gravure sur bois inventée par Bervick en Angleterre, et montra tout le parti qu'on pouvait tirer de son emploi pour obtenir les sujets les plus délicats. Ce procédé

consistait à graver sur le bois debout par des procédés tout à fait analogues à ceux de la gravure en taille-douce sur cuivre, en profitant de la résistance des fibres dans le sens de leur longueur pour obtenir des traits fins, résistants [1]. »

Deux procédés de gravure sur bois correspondent aux deux genres de dessin dont nous avons parlé plus haut.

Le premier consiste à imiter le dessin exactement en enlevant, à l'aide de burins, les parties blanches. Ce travail, dit « fac-simile, » s'appliquant le plus souvent à des dessins très-chargés, rentre dans la première classe, c'est-à-dire que le burin produit plutôt des teintes que des lignes courbes.

Le second, dit « classique, » dans lequel le graveur a souvent à interpréter des parties lavées ou estompées, se fait avec des outils à faces presque parallèles et en déterminant des lignes de courbure continues, de largeur variable (on n'emploie en général qu'une seule série de ligne de courbure, la plus caractéristique), pour les surfaces convexes; des teintes formées par des lignes parallèles, pour les surfaces plates, les ciels, etc.

Nous donnons ici deux exemples de cette gravure employée pour des représentations de personnages, pour montrer toute l'étendue du procédé; le présent ouvrage est, nous l'espérons, un spécimen qui sera jugé satisfaisant de tout point, du second genre de travail appliqué à la représentation des œuvres d'art.

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE.

Nous allons compléter maintenant ce qui a rapport au plus important procédé de reproduction du dessin, à l'imprimerie typographique, dont nous avons étudié en partie les productions dans ce qui précède.

L'imprimerie typographique n'a, dans le cas général, à sa disposition qu'une couleur, le noir; mais elle offre l'avantage, au point de vue artistique, de pouvoir, par la nature de l'encre qu'elle emploie, rendre des gravures extrêmement délicates et fines, et en même temps de donner des tons noirs très-vigoureux. De plus, les ressources de la fonderie permettent de multiplier, et le principe de la mobilité des types dû au génie de Guttenberg conduit naturellement à juxtaposer, à varier à l'infini les combinaisons des vignettes et éléments divers dont l'imprimerie dispose. Cet avantage n'existe qu'à un moindre degré dans l'impression des étoffes et des papiers peints, où le dessin élémentaire, le cachet, n'est reproduit que par des

[1] On doit citer, parmi les graveurs sur bois les plus estimés de nos jours, Thompson, Jackson, Orren Smith, Godard, Quartley, Brevière, etc.

moyens trop imparfaits pour que sa multiplication exagérée n'engendre pas de nombreux défauts, ce qui force à le faire d'une certaine grandeur en rapport avec la largeur de l'étoffe ou du papier.

L'étude artistique des caractères typographiques, comme celle déjà indiquée ci-dessus des vignettes qu'elle peut employer, est très-intéressante, et n'a jamais, que nous sachions, été essayée. C'est ce qui nous autorise à compléter une esquisse qui, au moins, ouvrira la voie, et donnera peut-être, à quelque artiste plus compétent que nous, connaissant mieux quelques-unes des industries que nous passons en revue dans cet ouvrage et pour lesquelles nous avons négligé bien des questions, l'utile idée de les traiter avec le développement qu'elles comportent.

DES CARACTÈRES TYPOGRAPHIQUES.

Nous nous garderons d'entrer ici dans des développements relatifs à la découverte de l'imprimerie, et, nous bornant à ce qui rentre dans notre cadre, nous dirons seulement quelques mots sur les modifications successives que le goût a apportées à la forme des caractères, afin de mieux faire comprendre l'évolution historique qui s'est produite dans tous les éléments d'une industrie que l'on est peu habitué à considérer au point de vue de l'art.

Chacun sait que c'est la gravure sur bois, l'imprimerie tabellaire appliquée aux cartes, aux légendes, qui a conduit de la reproduction des textes gravés joints aux figures à l'idée de rendre les caractères mobiles, découverte éminente par ses résultats, que sût réaliser le génie de Guttenberg.

Au moment de la découverte de l'imprimerie le type fut fixé d'une manière définitive, ou au moins les modifications devinrent plus lentes, plus difficiles qu'aux époques où les manuscrits régnaient sans partage, où l'action d'un artiste écrivain pour modifier le goût pouvait être très-grande. Malgré cela, si on passe en revue quelques monuments des diverses époques célèbres, après comme avant la découverte de l'imprimerie, on voit reparaître d'une manière très-tranchée, bien que non remarquée jusqu'ici, les modifications du goût, les divers styles, qui, en effet, doivent être aussi sensibles dans l'écriture que dans toutes les autres manifestations de l'activité laborieuse.

La moindre inspection fait reconnaître qu'au point de vue de l'art le caractère des inscriptions grecques, tout géométrique, composé seulement de parties rectilignes et de parties circulaires, répond au style grec; celui des manuscrits romans, d'abord altération simple des inscriptions grecques, prend bientôt un aspect tout particulier correspondant non-seulement au nouveau moyen de production, à la calligraphie, mais encore au goût régnant; on sent quelque chose au plein-cintre de l'architecture de l'époque. Plus tard on voit l'écriture se transformer et, suivant les changements du goût, prendre les formes du caractère gothique, genre d'écriture adopté généralement au moment de la découverte de l'imprimerie, rappelant évidemment, par la recherche des pointes, les flèches des constructions adoptées partout, et qui répond tout à fait au style gothique, si naturel à l'Allemagne.

Montrons par quelques exemples la vérité palpable de ces propositions :

ΧΡΗΤΗΙ ΑΔΕΛΦΗΣ ЄΜΝΗCΘΗ ΟΝΗCΙΜΑ

Inscription grecque.

UIINTRIS MIANDROS

Écriture capitale du ivᵉ siècle.

Ce type est formé par l'altération des caractères des inscriptions.

INFINEM PROPULO
QUIA SANCTISION
FACTUS EST DAUID IN

Psautier de Saint-Germain-des-Prés (vıᵉ siècle).

La forme des lettres s'arrondit dans le goût dominant dans le style roman.

causa frangatur orato

Écriture minuscule de 819.

INILLO TEPR.
Erat homo ex pharisæis nichodem'
nomine. princeps iudeorum.

Bible latine du ixᵉ siècle

La calligraphie modifie de plus en plus les formes et donne naissance aux lettres dites *bas de casse*, entièrement différentes des capitales.

Ol prince te
real p cest ... montre q

Écriture minuscule de 1373.

Pape sathan pape sathan aleppe
comincio pluto co la boce chioccia
quel savio gentile che tutto sepp

Écriture italienne du xivᵉ siècle.

Les formes aiguës sont recherchées pour l'élégance des lettres. — C'est le style gothique qui prend sa forme.

Donnons maintenant une copie du type gothique le plus estimé de l'époque qui vit la découverte de l'imprimerie.

Et pluraliter doceamur doceamini do-
ceantur. Futuro doceto: tu doceto: il-
le. Et pluraliter doceamur doceamini

Grammaire latine de Donat (édition xylographique attribuée à Faust et Guttenberg).

Enfin nous donnerons un exemple de la forme la plus élégante conservée par les premiers graveurs sur acier.

Les Publicains et les pecheurs vindrent a Jesus affin
quilz ouyssent sa parole et sa predication/

Gothique du XVIe siècle en typographie.

Le caractère gothique, naturellement adopté pour les premiers monuments de la typographie, subit bientôt une radicale transformation pour donner nos types actuels, à l'époque de la renaissance; ce fut l'œuvre de Jenson, graveur de la Monnaie de France, envoyé en 1462 à Mayence par Louis XI pour apprendre les secrets de l'imprimerie, et qui, retiré à Venise, grava les beaux types de caractères romains que Garamond prit ensuite pour modèles au siècle de François Ier. Il y réintroduisit les éléments classiques des inscriptions romaines, et cette réforme, cette renaissance est bien de même ordre que toutes les transformations qui ont été alors produites dans toutes les directions de l'art aussi bien que dans l'écriture. Le type romain fut créé à l'aide de la réunion dans un même alphabet des minuscules des manuscrits et des capitales romaines, en modifiant en outre quelques formes traditionnelles pour obtenir une facile lecture, une grande régularité, débarrasser les lettres d'accessoires inutiles et les réduire à la combinaison la plus simple possible de parties droites et de parties circulaires. Ce fut Alde Mauuce, imprimeur de Venise, qui, bientôt après, grava le caractère italique dit quelquefois « lettres aldines, » complétant ainsi le mouvement de la renaissance.

Au XVIe siècle, Garamond perfectionna la gravure et donna aux lettres des formes qui font encore l'admiration des amateurs de vieux livres, à tel point qu'aujourd'hui ils en arrivent à nier, à tort suivant nous, tous les progrès accomplis depuis cette époque et les déclarent des altérations d'un type parfait. C'est dire que le goût ne se transforme pas continuellement dans cette application de l'art industriel, ce qui n'est soutenable dans aucun cas.

Passons maintenant à l'étude des types des époques plus rapprochées de la nôtre, aux conditions de leur perfection pour notre goût.

Pour beaucoup de personnes, tous les caractères typographiques de même grandeur se ressemblent; ce sont toujours, dit-on, des *a*, des *b*, etc. Si toutefois on met sous les yeux de ces personnes un volume sortant des presses d'Elzévir, ou de quelque autre imprimeur justement célèbre, elles sont frappées de la netteté, de l'élégance des types, à ce point que beaucoup en font collection, non pour les lire, mais comme

d'estampes, d'objets d'art. Il y a donc un certain charme, une certaine harmonie dans l'ensemble d'un caractère, dans une page, indépendamment même de l'élégance qui peut appartenir à chaque lettre, car c'est l'ensemble de la page qui paraît admirable aux amateurs : c'est la considération principale de chacun de ces éléments qui a fait la réputation des deux principales écoles qui ont acquis une juste célébrité en typographie : celle des Elzévirs, dont les types ont été imités en grande partie dans les caractères anglais les mieux réussis dans ces dernières années; celle des Didot et de Bodoni, dernier terme des progrès accomplis en typographie à la fin du dernier siècle, et qui a été célèbre au commencement de celui-ci; aussi ces types ont-ils d'abord servi de guides à la majorité des graveurs français modernes.

Le principe des caractères Didot était de faire les fins des lettres extrêmement minces, ce que permet la gravure sur acier; de rendre continu le passage des fins aux pleins, en arrondissant les formes, en donnant ainsi à la lettre typographique, autant que possible, l'élégance de l'écriture.

Les Elzévirs, et à leur imitation les Anglais, notamment Baskerville qui, au siècle dernier, améliora les types et indiqua la voie qui a été suivie avec succès, ont sacrifié la forme de la lettre, quand il était nécessaire, à la netteté de la ligne, tenant très-fortes les parties horizontales des lettres, soutenant les empattements qui donnent le sentiment net de leur alignement.

On jugera bien de ces effets en opposant deux caractères de ces deux écoles : l'une cherchant l'élégance de chaque lettre, l'autre la netteté, le brillant de la page.

Dix Didot.

Ego multos homines excellenti animo ac virtute fuisse, et sine doctrina, naturæ ipsius habitu prope divino, per seipsos et moderatos, et graves exstitisse fateor : etiam illud adjungo, sæpius ad laudem atque virtutem naturam sine doctrina, quam sine natura valuisse doctrinam. Atque idem ego contendo, cum ad naturam eximiam atque illustrem accesserit ratio quædam conformatioque doctrinæ, tum illud nescio quid præclarum ac singulare solere existere. Nam cæteræ neque temporum sunt, neque ætatum omnium, neque lo-

Dix Anglais.

Ego multos homines excellenti animo ac virtute fuisse, et sine doctrina, naturæ, ipsius habitu prope divino, per seipsos et moderatos et graves exstitisse fateor: etiam illud adjungo sæpius ad laudem atque virtutem naturam sine doctrina, quam sine natura valuisse doctrinam. Atque idem ego contendo, cum ad naturam eximiam atque illustrem accesserit ratio quædam conformatioque doctrinæ; tum illud nescio quid præclarum ac singulare solere existere. Nam cæteræ neque temporum sunt, neque ætatum omnium, neque lo-

Le problème à résoudre aujourd'hui consiste à donner les avantages de ces deux systèmes aux nouveaux caractères, en faisant dominer toutefois tout ce qui peut contribuer à la netteté de la typographie, à l'éclat de l'impression, car cette condition doit passer avant toute autre. Nous donnerons ici, comme exemple d'un essai tenté pour atteindre ce but, une des dernières gravures de l'ancienne fonderie Didot, du bel établissement connu sous le nom de « Fonderie générale, » où sont réalisées les condi-

tions ci-dessus indiquées. On a emprunté aux Didot une certaine légèreté des fins, mais surtout on a imité des Anglais l'épaisseur des parties horizontales, les traits soutenus. Ce qui est surtout nouveau, c'est la tendance à donner aux lettres, dans les limites

Nouveau caractère de la Fonderie generale.

Ego multos homines excellenti animo ac virtute fuisse, et sine doctrina, naturæ ipsius habitu prope divino, per seipsos et moderatos, et graves exstitisse fateor : etiam illud adjungo, sæpius ad laudem atque virtutem naturam sine doctrina, quam sine natura valuisse doctrinam. Atque idem ego contendo, cum ad naturam eximiam atque illustrem accesserit ratio quædam conformatioque doctrinæ, tum illud nescio quid præclarum ac singulare solere existere. Ex hoc esse nunc numero, quem patres nostri viderunt, divinum hominem, Africanum : ex hoc C. Lælium, L. Furium, moderatissimos homines et continentissimos : ex hoc fortissimum virum, et illis temporibus doctissimum, M. Catonem

fixées par le goût, une forme rectangulaire tout à fait favorable à l'alignement du haut comme du bas, qui contribue singulièrement à la netteté dont nous venons d'analyser les principes. On reconnaîtra facilement que ce caractère n'est autre que celui de cet ouvrage, dont nous avons cherché à faire un curieux spécimen de ce que peuvent produire les divers ateliers de la Fonderie Générale et les habiles artistes qui les dirigent.

Les questions dont nous avons parlé plus haut ne sont pas les seules qu'on puisse traiter au point de vue de la gravure des caractères, mais ce sont les plus importantes. Nous dirons seulement quelques mots des autres.

La fabrication des journaux, des éditions à bon marché a fait naître, en France, les caractères compactes, c'est-à-dire dans lesquels les courtes *m*, *o*, etc., ont grandi relativement aux longues *b*, *d*, etc. Après avoir exagéré ce résultat, qui permettait d'employer pour une page un caractère plus gros à l'œil sans changer le nombre de lignes, on s'est arrêté à un accroissement réel des lettres courtes, à la limite qu'on ne peut dépasser sans amener la confusion, le blanc devenant insuffisant entre les lignes.

La nécessité de faire tenir des vers dans une ligne, avait fait créer depuis longtemps des caractères dits poétiques, dans lesquels l'*o* et les rondeurs étaient allongées, contrairement au principe paraissant inviolable autrefois, par on ne sait trop quelle prétention à une détermination mathématique des formes des lettres, que l'*o* d'un caractère devait être un cercle parfait. L'œil s'est habitué à cette forme, plus gracieuse que la circulaire, et on a pu ainsi obtenir les formes inscrites dans un rectangle dont nous avons indiqué les avantages.

Enfin, l'adoption des poétiques compactes eût rendu la page trop noire, si on n'eût en même temps amaigri toutes les lettres des caractères.

Nous ne parlons pas ici des caractères allemands. Par amour de la tradition, le type de style gothique a été conservé jusqu'à ce jour en Allemagne; nous croyons que c'est un tort; c'est, par un patriotisme exagéré, nier le progrès accompli depuis le xv[e] siècle dans tous les arts, et nous faisons des vœux pour que les essais tentés par divers savants, et notamment par les frères Grimm, pour faire adopter à l'Allemagne les types du reste de l'Europe soient couronnés de succès.

Quant aux Orientaux, qui possèdent d'admirables manuscrits, la forme de leurs caractères, toute différente de celle des nôtres, ne nous permet pas de les apprécier; toutefois on sent en eux le style oriental, la similitude avec l'arabesque et l'ornementation orientale avec laquelle ils se mélangent si bien.

Ce résumé montre combien de questions d'art et de goût se rattachent à la gravure des caractères; c'est ainsi que dans une industrie qui paraît la plus simple aux personnes qui y sont étrangères, il y a lieu à appliquer toute la capacité des personnes de goût et toujours de nouveaux progrès à effectuer.

INITIALES ET LETTRES DE FANTAISIE.

Pour completer ce qui est relatif à la typographie, nous devons dire quelques mots des initiales qui servent à faire les titres, et quelquefois sont placées au commencement des chapitres, comme les majuscules qui ornaient les manuscrits. Ces initiales, provenant directement de la tradition des inscriptions romaines, ont été variées à l'infini quant aux proportions de graisse, de largeur relative aux lettres. Nous donnons ici deux des types les plus justement appréciés.

MONTAUBAN

BOURGUIGNONS

Les types ci-dessus appartiennent à la pure tradition classique, c'est-à-dire qu'on n'a pas sacrifié, dans leur gravure, à la fantaisie qui règne pour la création des lettres employées pour des œuvres de goût, des actions, des factures, etc. On a, pour ces cas divers, créé nombre de types, qui ne sont pas tous de bon goût, il s'en faut, mais qui, lorsqu'on sait les employer, donnent une grande variété et un grand charme aux produits de la typographie.

Ne relevant que de la fantaisie, les créations de ce genre ne peuvent pas être considérées comme assujéties à des règles quelconques. Pourtant il est une série assez notable qui peut être classée à part, à savoir celle des caractères dont on rend l'épaisseur des pleins très-grande, pour les employer à faire des lignes de titre extrêmement saillantes à l'œil. Telles sont les Normandes (dont nous donnons ici

Les monuments égyptiens portent gravés sur les murailles une foule de scènes, et, par suite, différentes formes de meubles.

deux lignes), dans lesquelles les parties habituellement fines sont également rendues

épaisses. Inversement, des lettres très-maigres tranchent sur les caractères ordinaires, telles sont les Capillaires, dont ci-joint un échantillon.

La Belgique est une partie de l'ancienne Gaule. Les Belges, Germains pour la plupart, étaient fiers, accoutumés à braver les fatigues et les périls; ils furent les derniers qui purent être soumis à leurs vainqueurs.

Parmi les lettres de fantaisie proprement dites, nous donnerons un certain nombre d'exemples pour faire apprécier, par un choix suffisant, toutes les variétés que nos

Lettres blanches.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE COMMERCE.

HISTOIRE DE LA FRANCE MARITIME MILITAIRE ET AGRICOLE

HISTOIRE DU NOUVEAU MONDE. LA JÉRUSALEM DÉLIVRÉE, POÈME

DISCOURS SUR LES BEAUTÉS DU CHRISTIANISME

Antiques ornées.

EMBARCADÈRE DU CHEMIN DE FER DE ROUEN

Allongées ornées.

REVUE MUSICALE ET ARTISTIQUE

Ottomanes.

LES MONARCHIES

LE CHEMIN DE

Prismatiques.

HONORABLE

graveurs ont créées. Nous montrons des lettres blanches, ombrées, antiques ornées, ottomanes, etc. Le champ est évidemment indéfini.

CALLIGRAPHIE.

L'écriture est de la nature du dessin, et constitue un produit artistique qui a subi des transformations multiples bien plus nombreuses qu'on ne peut l'imaginer, telles enfin, que les connaissances nécessaires pour la lecture des chartes et anciens manuscrits constituent une science spéciale dite « paléographie. »

Il nous est difficile de parler des anciens manuscrits au point de vue de l'art, d'ajouter des détails à ce que nous disons ailleurs ; nous nous contenterons de rappeler que les derniers progrès dans l'exécution des manuscrits avaient conduit à une netteté plus ou moins voisine de celle qu'on a obtenu par la typographie, perfection qui ne sera plus jamais recherchée à l'aide de travaux de cette nature, puisqu'ils ont cessé forcément le jour où l'imprimerie a été inventée.

Il serait oiseux de nous étendre beaucoup sur les œuvres de nos calligraphes modernes ; il faudrait étudier des fantaisies calligraphiques prétentieuses qui n'ont aucune valeur artistique. Nous ne nous occuperons ici que de l'écriture courante, que depuis les derniers progrès on appelle « anglaise » dans notre pays. C'est dans la régularité de la pente, dans le passage graduel du plein au fin, que s'obtient la grâce de cette écriture. Nous en donnerons un exemple par une ligne d'anglaise Firmin Didot, chef-d'œuvre de la typographie moderne tant par l'élégance de sa gravure que par l'heureux système de sa composition.

Ministère d'état des Affaires

Depuis quelques années on a essayé quelques caractères plus droits ou plus penchés qui ne manquent pas de grâce. Nous donnerons ici un exemple d'un des plus élégants.

Nouveaux caractères d'Écriture

Traits d'écriture. — Les calligraphes, en prenant l'habitude de créer des lignes agréables à l'œil, ont tenté de les encadrer de petites compositions à la plume, dites traits d'écriture. La typographie, qui a fixé les premiers types en les soumettant à des procédés de reproduction indéfinis, vient de rendre le même service aux traits d'écriture, en surmontant de grandes difficultés de fabrication toutes spéciales pour per-

mettre le mélange des caractères et des traits. Il y a là quelque intérêt à voir ainsi fixer des compositions passagères, dont il est juste de dire, toutefois, que la gravure



en taille-douce avait déjà multiplié les modèles. Nous en donnerons un exemple emprunté à la Fonderie générale, qui vient, par cette création, de compléter heureusement un type célèbre connu sous le nom de *gothique ornée*.

INITIALES D'ANCIENS MANUSCRITS.

Les manuscrits anciens et même les premiers livres imprimés étaient illustrés à l'aide d'initiales dessinées en général sur un fond bleu ou un fond d'or; quelquefois avec des compositions formant de petits tableaux, des miniatures dont nous parlerons plus loin, en traitant de la peinture aux diverses époques, car ces compositions très-étudiées étaient les véritables tableaux de la peinture du moyen âge.



Nous ne reproduirons ici que quelques lettres choisies parmi les plus simples qui ornent des têtes de chapitres, tant des manuscrits que des premiers livres où l'on essaya de remplacer les miniatures par des gravures. Elles ont tellement varié aux

diverses époques qu'on pourrait classer les manuscrits par les types principaux des initiales placées en tête des chapitres. Sans doute les artistes calligraphes dans ces créations obéissaient à leur fantaisie, mais sous l'influence du goût, du style de l'époque où ils vivaient.

De nos jours on emploie rarement des initiales ainsi ornées; ce n'est que pour quelques ouvrages illustrés qu'on en voit quelquefois. Elles se détachent alors en général sur un petit dessin qui est une véritable composition ayant plus ou moins de rapports avec le texte de l'ouvrage. Quelquefois elles empruntent leurs ornements soit à des fleurs, soit à des personnages de fantaisie, comme dans les exemples ci-après



GRAVURE EN TAILLE-DOUCE

ET LITHOGRAPHIE.

Nous parlerons bientôt, en traitant des nielles employées dans la décoration de la bijouterie, de l'invention de la gravure en taille-douce; laissant de côté la question historique, nous dirons que le travail des planches de cuivre ou d'acier pour y creuser les lignes d'un dessin comprend deux procédés correspondant aux deux genres de dessin dont nous avons parlé.

Le premier est la gravure à l'eau-forte, dans lequel on fait creuser le métal par la morsure d'un acide qui attaque les parties découvertes à l'aide d'une pointe qui a tracé le dessin, sur une planche préalablement couverte d'un vernis adhérent. Cette action de l'acide, toujours quelque peu irrégulière, formant un trait de largeur constante, n'est évidemment pas convenable pour créer des lignes nettes et fortement accusées par des largeurs variables; mais ce procédé convient essentiellement pour produire des teintes.

Le second constitue la gravure au burin conduit directement par la main de l'artiste;

c'est ainsi qu'ont été produites les œuvres des maîtres; c'est dans leurs travaux que peut se reconnaître l'avantage de l'emploi bien entendu des lignes de grande courbure pour reproduire de la manière la plus satisfaisante des corps de toute forme, par un mode de représentation mieux saisissable que tout autre et qui assurera toujours la supériorité des œuvres bien comprises sur les plus admirables résultats de la photographie et autres procédés qui ne peuvent fournir que des teintes [1].

Les moyens d'obtenir des gravures rentrant dans l'une ou l'autre des séries ci-dessus indiquées sont nombreux; nous n'avons pas à nous y arrêter longuement. Nous citerons dans la première catégorie la gravure à la manière noire, et dans la seconde la gravure numismatique, qui offre de si curieux résultats par la projection des lignes courbes successives de la surface à représenter, coupée par des plans parallèles; mode de représentation moins parfait que celui que peut donner l'emploi des lignes de grande courbure, mais cependant bien remarquable.

La gravure sur cylindres, base de la belle industrie des toiles peintes, doit être citée ici, car ses produits, si remarquables au point de vue des procédés techniques employés, ont souvent une valeur artistique qui est loin d'être négligeable.

La lithographie est venue, dans ces dernières années, fournir un moyen simple et facile de multiplication des dessins, en offrant cet avantage que c'est l'original même, le travail de l'artiste qui est déposé sur la pierre, et que l'impression rend directement, sans passer par l'intermédiaire d'un traducteur souvent peu fidèle.

Disons toutefois que la lithographie, dont les dessins ne peuvent être tracés sur pierre qu'avec un crayon gras et mou, dont les noirs sont d'une apparence grenue, ne convient pas pour les travaux qui demandent une grande netteté, une grande précision, et ne peut présenter que des effets de la nature de l'estompe. La gravure en creux sur pierre est venue, sous ce rapport, au secours de la lithographie.

On peut dire que l'extrême facilité de la reproduction du dessin sur pierre a fait remplacer par celle-ci, pour les œuvres communes, la gravure au burin réservée aujourd'hui aux œuvres d'art pour lesquelles on recherche la pureté des lignes. La lithographie est, de nos jours, un moyen puissant de vulgarisation des œuvres d'art sur une échelle très-étendue et doit avoir une bien heureuse influence sur l'éducation générale du public en fait d'art. Malheureusement cette action ne peut être qu'élémentaire, ne peut dépasser des sphères assez peu élevées, à cause de la difficulté d'exécution par les procédés de la lithographie des œuvres artistiques d'une grande valeur.

La lithographie à deux teintes appliquée, dans ces dernières années, à des sujets de genre, à des études de fantaisie, produit des effets séduisants, en rehaussant singulièrement l'éclat de la lumière. Nous verrons bientôt ces effets considérablement accrus par l'emploi des couleurs.

[1] A la renaissance, Albert Durer, Lucas Kilian, en Allemagne, publièrent des gravures admirables. L'Italie offre l'œuvre de Marc-Antoine Raimondi, qui, guidé par Raphaël, produisit des chefs-d'œuvre. Si la France entra plus tard dans la lice, elle produisit beaucoup de célèbres graveurs en taille-douce : Callot, Audran, Bervic, qui, par la grandeur de ses lignes, rappelle bien le siècle de Louis XIV auquel il appartient; Nanteuil, Cochin, Duret, etc., et, de nos jours, Desnoyers, Forster, Calamatta, Henriquel Dupont, etc. En Angleterre, Finden, Lekeux ont dans ces dernières années brillé par l'exécution de vignettes d'une grande finesse.

PHOTOGRAPHIE.

Un nouveau et merveilleux procédé, la photographie, est venu, dans ces dernières années, fournir le moyen de représenter des objets de tout genre, sans nécessiter en rien l'intervention de l'artiste. Tout le monde connaît aujourd'hui le principe de cette admirable découverte, qui repose sur les changements de composition de certains corps exposés à la lumière et par suite de réactions différentes en divers endroits d'une surface sur lesquelles les parties obscures ou les parties éclairées d'une image de la chambre noire sont venues se produire. Les images photographiques dues à l'action de la lumière ne peuvent donner que des teintes, ne sauraient indiquer des lignes de courbure; elles rentrent donc dans la première classe de dessins, la moins parfaite au point de vue artistique. Mais la facilité de leur production, l'avantage de pouvoir les créer après un court apprentissage, ce qui permet aux voyageurs de rapporter des épreuves incontestables des monuments des pays étrangers, font que cette belle découverte est un progrès immense pour la vulgarisation des éléments indispensables aux progrès des arts et de l'industrie. Mettre à la portée de tout le monde la représentation de tout objet intéressant, sans crainte de fausse interprétation sous l'influence d'idées préconçues, obtenir tout de suite sous forme de dessin le résultat d'un groupement de sujets, c'est un bien important résultat. Disons cependant que cet art, qui a déjà accompli de si grands progrès, a encore beaucoup à faire pour éviter les déformations qui se produisent fréquemment, bien souvent à cause de l'imperfection des lentilles et des appareils.

Nous devions d'autant plus citer ici la photographie que sa pratique n'est pas purement technique. En effet, l'expérience a démontré que la pratique industrielle est insuffisante pour obtenir de bons résultats. et des personnes initiées aux beaux-arts ont pu seules se faire une belle réputation par l'exécution d'œuvres difficiles. C'est que la disposition des objets, le choix du point de vue, le sentiment de l'intensité des teintes, etc , tout cela est de l'art, et tout cela est indispensable pour créer des œuvres remarquables en photographie.

Nous devons citer parmi les compléments d'une découverte qui fait si grand honneur à notre siècle, la gravure directe des images photographiques, qui a déjà fourni quelques beaux résultats. et pourra très-probablement, dans beaucoup de cas servir de point de départ pour le travail de l'artiste.

APPLICATION DES COULEURS

II. COLORATION

DES COULEURS.

On sait que les couleurs fondamentales, indépendamment du noir et du blanc, qui correspondent à l'absence de lumière et à la lumière éclatante, sont au nombre de trois, le *jaune*, le *rouge* et le *bleu*. Avec ces trois couleurs, auxquelles ils ajoutent le noir et le blanc, les peintres reproduisent tous les contrastes de tons et d'effets lumineux, toutes les teintes possibles, toutes les *notes* enfin des *gammes*, que l'on peut former avec des couleurs.

On doit remarquer que parmi ces couleurs, à égalité de teintes, en les prenant dans un même spectre solaire, le jaune est le plus lumineux (après le blanc, bien entendu), puis vient le rouge, et enfin le bleu, qui est en partie sombre comme le noir; ainsi en allant de la lumière à l'obscurité, on suit l'ordre : blanc—jaune—rouge—bleu—noir. C'est en raison de cette loi fondamentale, fidèlement observée par les grands peintres, que les parties qui dans leurs travaux retiennent l'œil sont en première ligne celles où le jaune prédomine, et ensuite les rouges appliques d'ordinaire aux draperies; les bleus et le gris déterminent les dégradations de la perspective aérienne. Les noirs servent de repoussoirs; les blancs sont toujours rompus de jaune et parfois, dans les dessous, de préparations rougeâtres qui en soutiennent l'effet. (Voir les Titien, les Rembrandt, les Corrége, etc., etc.) C'est ce qu'explique, dans son style brillant, l'écrivain adopté par l'école romantique moderne, Stendahl, dans son Histoire de la peinture en Italie :

« Le jaune et le vert, dit-il, sont des couleurs gaies, le bleu est triste; le rouge fait « venir les objets en avant, le jaune attire et retient les rayons de la lumière; l'azur « est sombre et va bien pour faire les grands obscurs. — Toutes les « gloires » des « grands peintres, et entre autres du Corrége, sont jaunes. »

Avant de parler des applications des couleurs, il importe de passer en revue les principes qui président à leur emploi; à cet effet, nous dirons quelques mots des gammes des couleurs, des moyens de les définir, puis nous indiquerons une belle théorie due au savant M. Chevreul; elle offre un beau modèle d'analyse scientifique appliquée aux phénomènes les plus insaisissables en apparence.

DES GAMMES DES COULEURS.

C'est à M. Chevreul que l'on doit la détermination la plus satisfaisante des gammes de couleurs, c'est-à-dire d'avoir donné les méthodes pratiques permettant d'obtenir les teintes de couleurs équidistantes, soit franches, soit rabattues par des proportions égales de noir, de manière à pouvoir définir nettement les éléments à l'aide desquels on peut établir les harmonies des couleurs comme on calcule les harmonies des sons dans la musique.

Voici comment il a disposé ce cercle chromatique dont la page coloriée, donnée à l'article CONTRASTE du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, peut donner une idée.

« Supposons, dit-il, 72 couleurs simples ou binaires disposées circulairement sur une table ronde, de manière qu'il y ait 23 couleurs entre le rouge et le jaune, 23 entre le jaune et le bleu, 23 entre le bleu et le rouge; supposons en outre que chaque couleur soit à égale distance de ses deux voisines, vous aurez 72 types. Si vous supposez la couleur de chaque type allant du blanc, qui occupe le centre du cercle, au noir qui occupe la circonférence, par gradation équidistante, vous formerez 20 tons, je suppose, d'une même couleur, dont l'ensemble est ce que je nomme la gamme de cette couleur, dont des points correspondront à des points déterminés du spectre solaire, et par suite n'auront rien d'arbitraire.

Supposons maintenant que l'on intercale entre chaque type du premier cercle et le gris normal, c'est-à-dire le gris du noir qui représente une ombre dépourvue de couleur, 9 types formés par la couleur de ce type terni par $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, ... $\frac{9}{10}$ de noir; qu'on réunisse ensuite, dans un même cercle, toutes les couleurs ternies par la même fraction de noir, de manière à avoir :

Un second cercle dont les gammes sont ternies par $\frac{1}{10}$ du noir,
Un troisième — — $\frac{2}{10}$ —
. . . .
Un dixième — — $\frac{9}{10}$ —

on obtiendra ainsi 720 types, lesquels, divisés chacun en 20 tons, donneront 14,400 tons. En y ajoutant 20 tons de gris normaux, nous aurons 14,420 tons pour l'ensemble de la construction chromatique hémisphérique.

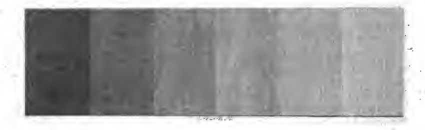
Au moyen de ces 10 cercles, on peut se représenter toutes les couleurs, car on définit la gamme le ton ou l'intensité, et le noir qui peut ternir la couleur. Ainsi l'expression 3 rouge 12 $\frac{3}{10}$ signifie la couleur correspondant à la gamme 3 rouge, 12 ton, terni par $\frac{3}{10}$ de noir; c'est la couleur garance des uniformes français. »

CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS.

Les effets, savamment analysés par M. Chevreul, et qui résultent de ce qu'il appelle le contraste simultané des couleurs, se résument surtout en ceci :

Le contraste simultané des couleurs est un phénomène qui se manifeste en nous toutes les fois que nous regardons en même temps deux objets différemment colorés placés à côté l'un de l'autre. La différence de ton et couleur qui peut exister entre les deux objets est augmentée de telle sorte :

1° Que si l'un des objets est au point de jonction plus foncé que l'autre, celui-ci nous paraît plus clair, moins lumineux, et le premier plus foncé qu'ils ne le sont réellement; c'est ce que rend sensible une juxtaposition de teintes plates, comme le représente l'exemple ci-joint, et montre bien l'impossibilité d'obtenir des succes-



sions parfaites de tons, sans un très-grand nombre de tons intermédiaires; comment l'emploi de teintes plates successives en nombre très-limité, ce qui est le procédé employé par l'industrie, ne peut jamais qu'approcher du but.

2° Que les couleurs de deux objets juxta-posés sont elles-mêmes modifiées, pour l'œil de l'observateur, dans leur nature optique, chacune d'elles éveillant pour les parties voisines de celles colorées le sentiment de la couleur complémentaire. (Celle qui, dans le spectre solaire, résulterait de la réunion des rayons autres que ceux qui produisent la couleur considérée, et qui, dans les cercles de M. Chevreul, se trouvent à l'extrémité opposée du diamètre passant par la couleur considérée.) C'est ainsi qu'une tache verte sur un papier blanc, par une vive lumière, éveille un sentiment de rose sur son coutour. Ainsi encore si on place une feuille de papier bleu à côté d'une feuille de papier jaune, ces deux feuilles, loin de nous paraître tirer sur le vert, comme on pourrait le presumer d'après ce qu'on sait de la reproduction du vert par le mélange du bleu et du jaune, semblent prendre du rouge, de telle sorte que le bleu paraît violet et le jaune orangé.

Nous avons donné nombre d'exemples d'applications de cette théorie à l'article

CONTRASTE du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*; nous n'y reviendrons pas ici. Nous ajouterons seulement une observation qui résulte de la nature des couleurs complémentaires, c'est que le mélange de celles-ci forme du gris, qu'en ajoutant à une couleur sa complémentaire, on la noircit, on la « rabat. »

M. Chevreul a également analysé les variations d'éclat des couleurs selon la manière dont sont placées, relativement à l'œil de l'observateur et à la direction des rayons lumineux, des parties convexes colorées; nous donnerons une idée de ses travaux en parlant des étoffes, seul objet de ses recherches, mais nous noterons seulement ici que, dans tous les cas de la pratique, on doit tenir compte, en même temps que de la couleur, de l'éclat et de la forme de la partie sur laquelle elle est appliquée : qu'il faut avoir soin de considérer, par exemple, si elle est déposée sur une partie rentrante et obscure, ou sur des surfaces planes ou convexes où se trouvent des points brillants plus ou moins multipliés, suivant la forme et la position de ces surfaces.

DE L'EMPLOI DES COULEURS.

Dans l'emploi industriel des couleurs, on doit distinguer deux cas : celui de l'emploi des couleurs en teintes plates, sans dégradations, qui correspond tout à fait aux harmonies d'ordre géométrique; et celui des teintes et tons multiples qui est fait par l'art pur, par la peinture et par l'utilisation de cet art dans l'industrie.

Passons en revue les diverses natures de produits déjà étudiées pour apprécier l'importance des colorations dans chacune d'elles[1].

ARCHITECTURE.

COULEURS EMPLOYÉES A L'EXTÉRIEUR DES MONUMENTS.

Dans l'architecture moderne, on n'emploie ordinairement les matériaux de construction qu'avec leurs couleurs naturelles; il n'en a pas toujours été ainsi. On sait que les Grecs appliquaient des couleurs vives en teintes plates sur leurs monuments, principalement sur les fonds qui étaient ornés de moulures saillantes. C'était l'application des mêmes idées qui les poussaient à colorer leurs statues.

[1] Nous eussions voulu pouvoir ici reproduire les colorations dont nous allons parler; malheureusement, les procédés dont nous pouvions disposer sont insuffisants et très-coûteux. Nous nous efforcerons, par le travail de la gravure, d'indiquer l'éclat relatif des couleurs; mais il faudra que le lecteur se reporte aux produits eux-mêmes pour en acquérir la connaissance complète.

Comme les législateurs de la Grèce, en fait de politique aussi bien qu'en fait d'art, dit M. Ziégler, avaient coutume de visiter l'Égypte, la vue des monuments colorés de Thèbes et de Memphis ne pouvait manquer d'exercer une influence sérieuse sur l'art grec. Les peintures de l'enveloppe sculptée des momies préparaient la vue aux cheveux d'or et aux chairs de cinabre dont les chefs-d'œuvre de la statuaire grecque étaient rehaussés. D'autre part, les murailles entaillées d'hiéroglyphes peints inspiraient le sentiment de la couleur dans l'architecture religieuse; sur les murailles grises, les teintes « rouge, jaune, bleue et verte » indiquaient les chairs et les draperies.

Nous ne donnerons pas ici de détails sur l'emploi de la couleur dans l'architecture grecque, question sur laquelle il reste un certain doute à cause du petit nombre d'éléments qui sont parvenus jusqu'à nous. Comme accessoire tout au moins, la coloration de certains fonds ornés de vignettes a produit un effet excellent dans quelques monuments, notamment dans plusieurs de ceux dont le roi Louis de Bavière a naguère décoré la ville de Munich.

Sous Arcadius et Honorius, on commença dans l'empire d'Orient à revêtir les églises de fresques, de mosaïques, de dorures.

Charlemagne fit, par une loi, une obligation de revêtir de peintures les murs des églises. Cet usage dura jusqu'à la fin du xe siècle. Mais ceci rentre dans la décoration des intérieurs, dont nous allons traiter ci-après.

On doit faire rentrer dans cette section l'emploi de colonnes en porphyre rouge et en marbre qui décorent plusieurs basiliques célèbres, et dont la belle couleur et le poli font surtout le prix.

La décoration architecturale par coloration la plus remarquable est sans contredit celle des monuments mauresques telle que celle de l'Alhambra, obtenue à l'aide de poteries colorées et qui avait été imitée a la renaissance, notamment au château de Madrid. Ceci rentre dans la coloration des poteries dont nous allons parler, mais nous devions rappeler ici l'éclat, la durée de ces colorations vitrifiées, formant des surfaces brillantes et réfléchissant la lumière. L'emploi des couleurs vives dans la décoration rappelle toujours le style oriental qui seul les a conservées, car, à l'Occident, les décorations peintes le sont toujours en couleurs peu éclatantes.

En dehors de ces cas, et presque exclusivement depuis l'époque romaine, c'est pour décorer l'intérieur des appartements que la peinture a été employée. Toutefois elle le fut assez souvent à l'extérieur par les Romains; et l'usage s'en est conservé sous le beau ciel de l'Italie.

DÉCORATION DES INTÉRIEURS.

Les décorations des intérieurs ont une relation intime avec l'architecture et varient nécessairement avec les divers styles. Elles se produisaient chez les Romains :

1° Par l'emploi de stucs, de marbres de tout genre, de mosaïques, de fresques, de peintures à la cire.

Nous donnerons quelque idée de ce genre de décorations chez les Romains par les

gravures ci-jointes : le dessin était en général clair sur fond noir ou coloré. Les



mosaïques, destinées tant aux planchers qu'à orner les murs des appartements, seront



étudiées dans la section suivante, dans laquelle nous traitons des juxta-positions d'éléments colorés.

2° Dans le style byzantin-roman : la répétition des petits ornements de couleurs diverses était, avec les fonds bleu d'azur et d'or et les carreaux émaillés, le grand moyen de décoration. La peinture à la fresque y tenait aussi une place importante.

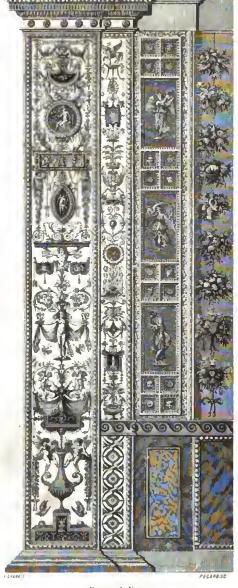
Le goût d'un autre genre de décoration se mêla, au VIIe siècle, à celui de la peinture qui, jusque-là, couvrait les voûtes. Entre les années 628 et 638, Dagobert, ayant ordonné la reconstruction de l'église de Saint-Denis, s'abstint de faire peindre l'intérieur de cet édifice; on couvrit les murailles et même les colonnes de draperies tissues d'or et brodées de perles, et ce genre de décoration devint de plus en plus commun dans les églises de France, au grand préjudice de la peinture.

3° Le style gothique ogival avait gardé, du style roman, la coloration d'azur des voûtes des églises; mais, comme nous l'avons déjà dit, c'était surtout le sculpteur sur bois qui décorait les chœurs par ses riches produits.

4° A la renaissance, la peinture à la fresque vint se multiplier sur les murs des églises, et tous les grands noms de cette brillante époque ont produit des chefs-d'œuvre plus directement liés à la décoration des édifices que ne peut l'être la peinture à l'huile, de dimensions généralement moindres. Il nous suffira, pour le rappeler, de citer le Jugement dernier peint par Michel-Ange dans la chapelle Sixtine.

Dans un ordre plus voisin de la tendance laïque de l'art moderne, nous rappellerons les célèbres décorations du Vatican citées plus haut, dues à Raphaël, qui sont restées le type harmonieux de ce genre de décorations, encore usité dans les habitations riches de l'Italie.

L'étude de l'application directe du travail d'un artiste plus ou moins éminent, excéderait les limites de notre cadre; nous dirons seulement qu'à l'exemple du maître, la décoration doit le plus souvent se borner à de simples arabesques. Dans les décorations de grand luxe, ce sont des sujets gracieux rehaussés de peu de couleur qui doivent former la base de semblables décorations. Nous donnons un panneau du Vatican, modèle de ce genre raphaëlesque.



Panneau du Vatican

5° Sous Louis XIV, on fit un fréquent emploi des trophées, des marbres plaqués sur



Salon d'Apollon.

les murailles, encadrés par des moulures; toutefois les peintures et les dorures

jouent un grand rôle dans les riches décorations intérieures. Nous en donnons pour exemple un panneau de la célèbre galerie d'Apollon au Louvre.

Les moulures prirent sous Louis XV plus de relief et un caractère spécial dont nous avons déjà dit quelques mots à propos de la sculpture.

6° De nos jours, le plus souvent ce sont des moulures rappelant celles de l'architecture, des boiseries plus ou moins sculptées encadrant des tableaux, et dans les habitations des particuliers, des panneaux de bois, le tout peint en couleurs unies souvent rehaussées par des filets d'or, qui sont la base de la décoration de la plupart des habitations élégantes.

Citons les glaces étamées comme moyen de décoration, grâce à l'éclat et à la lumière qu'elles répandent dans les appartements, genre de luxe si apprécié à notre époque.

Ce n'est que dans les palais, les musées que se voient, dans nos pays (bien plus fréquemment en Italie, où la décoration à la fresque est restée en grand honneur), les riches décorations peintes. On emploie alors en général des arabesques, des représentations de plantes et de fleurs qui encadrent des médaillons portant la représentation de sujets ayant quelque rapport avec la destination des salles à orner.

Les étoffes drapées fournissent la décoration la plus en rapport avec le *confortable*; l'étude de ces étoffes rentre pour nous dans celle de la décoration des tissus, sauf l'emploi de l'art du tapissier, pour faire jouer la lumière dans des plis harmonieusement distribués. Les tapisseries richement tissées sont, pour cet usage, employées avec succès dans les palais; les étoffes de soie chez les particuliers riches; enfin, dans la masse des habitations de nos contrées, c'est le genre de produits dont nous allons parler qui est devenu le moyen essentiel de la décoration. Nous voulons parler de ceux fournis par l'industrie des papiers peints, presque née de nos jours, et qui est venue offrir un procédé économique et élégant de décoration. Nous entrerons plus loin dans des détails sur la partie artistique de cette intéressante fabrication, quand nous aurons épuisé ce qui nous reste à dire de l'emploi des couleurs aux parties de l'art industriel dont nous avons traité en premier lieu, lorsque nous nous sommes placés au point de vue des formes.

COULEURS DANS LA CÉRAMIQUE.

Les vases grecs, dit M. Ziégler, se divisent en trois classes, selon les époques de leur fabrication. La couleur rouge pâle, avec figures noires et blanches, indique ceux de la première époque; ils remontent à 700 ans avant l'ère chrétienne. Les vases de la seconde époque sont fond noir avec figures jaunes. Enfin, ceux de la troisième époque sont de deux couleurs seulement, figures jaunes et fond noir; la perfection des peintures et leur extrême légèreté les distinguent particulièrement.

On voit que les colorations étaient déjà bien connues dans l'antiquité; toutefois ce n'est en général que par des superpositions de terres que les couleurs étaient produites. Ce n'est que depuis la renaissance, depuis la découverte de la faïence, que la palette



du peintre en poteries a été créée, et qu'on a pu produire tous ces tableaux émaillés extrêmement remarquables, malgré toutes les difficultés que présente leur exécution.

Déjà, à partir de cette époque, les ressources de la coloration furent considérables; on peut en juger par la richesse des couleurs des majoliques italiennes et celle des plats de Palissy qui représentent des poissons, des coquilles, etc. Toutefois ce n'est que depuis les grands progrès de la chimie que la palette du peintre en porcelaine a acquis une richesse suffisante pour rivaliser avec celle de la peinture à l'huile.

Nous répéterons ce que nous avons déjà dit : sauf quelques pièces analogues à celles en porcelaine tendre, style Louis XV, faites pour orner les boudoirs, et décorées de scènes de bergerie ou autres de même genre, les tableaux ne nous semblent pas en général le mode de décoration propre aux poteries, au moins quand on n'emploie pas seulement les poteries à porter des tableaux de porcelaine, comme c'était autrefois le cachet de la fabrication de Sèvres. Leur vrai style nous paraît devoir être celui qui se rapproche du genre oriental dans lequel sont employés en proportions convenables, avec la couleur du fond, les couleurs des décorations et l'or, qui, placé sur des parties saillantes, acquiert beaucoup d'éclat. Nous avons été contraint à traiter ces questions au chapitre III (Céramique); nous n'y reviendrons ici que brièvement.

Nous dirons d'abord que l'étude séparée des décorations et des formes est tellement naturelle, qu'elle correspond à une division fréquente dans l'industrie. Ainsi, il existe à Paris un nombre considérable d'ateliers de décoration pour lesquels on achète les pièces de forme convenable en porcelaine blanche et où on les revêt de brillantes décorations. Il y a là une division du travail parfaitement naturelle et très-favorable à sa perfection, vu la différence profonde qui existe entre ces deux natures de travaux. Toutefois il ne faut pas que le consommateur néglige de faire la différence de valeur et de solidité qui existe entre les couleurs au grand feu cuites avec la porcelaine et les couleurs de moufles formées avec des émaux quelquefois trop fusibles et pas assez résistants.

Le premier résultat qu'ait montré l'Exposition de 1855, c'est l'élégance du style de Sèvres dont nous avons parlé à la Céramique, qui, par une réaction sur ses anciennes méthodes, ne décore plus sa belle porcelaine blanche que d'ornements légers, peu serrés, ne détruisant pas l'éclat du fond. Ce style a été adopté par l'un des premiers fabricants d'Angleterre, M. Minton.

Un nouveau genre de décoration s'appliquant parfaitement aux couleurs grand feu et au fond céladon est celui produit par peinture et relief combinés. Ces ornements, formés par une partie transparente faite au pinceau venant rejoindre de hauts reliefs sculptés, sont d'un grand éclat.

Un genre de décoration qui n'est pas entièrement nouveau a été employé avec un grand succès par M. Copeland, habile fabricant anglais, célèbre à juste titre par la beauté de ses statuettes en parian; nous voulons parler de la décoration de la porcelaine par des pastilles, des perles en émail qui ont beaucoup d'éclat. Des buires de forme et décoration style indou ont été admirées à l'Exposition par tous les connaisseurs. Une pièce semblable fond bleu et parsemée de pastilles blanches est ravissante, et fait comprendre, par son éclat, le nom de porcelaine-bijou qu'on a donné à ces produits.

L'Exposition de 1855 a aussi fait connaître quelques teintes grand feu, à tons rouges

et verts, obtenues par M. Regnault, le savant directeur de Sèvres, en faisant naître à volonté une atmosphère réductrice ou oxydante, progrès technique important.

Enfin, nous rappellerons l'emploi de fonds vermicellés, pointillés, formés par une dorure très-fine, qui donnent sur porcelaine et surtout sur cristal des effets très-heureux.

COULEURS EMPLOYÉES DANS LES MEUBLES.

Les couleurs qui servent à la décoration des meubles sont principalement celles mêmes des bois employés dans leur construction. C'est le poli du bois qui fait ressortir ces couleurs et donne aux œuvres de l'ébénisterie leur plus grand charme.

Le chêne était le bois usité jadis pour la confection des meubles, et on sait que le chêne ciré est encore fort estimé aujourd'hui pour les antichambres, les salles à manger, etc. Son ton frais l'a remis à la mode et le fait préférer au noyer, qui, malgré la richesse de ses veinures, n'est guère admis aujourd'hui que pour les mobiliers des personnes peu fortunées, si ce n'est toutefois pour de grandes pièces sculptées.

L'ébène, qui prend un si beau poli, était le bois de luxe par excellence de nos pères. Sa couleur noire fait ressortir admirablement l'éclat des pièces riches déposées dans des armoires construites avec ce bois. On peut admirer, au Louvre, de superbes armoires de ce genre qui renferment les émaux, les faïences précieuses. Construites par M. Fourdinois, elles ne portent que des moulures en bois et les glaces sont encadrées dans un simple filet d'acier.

Nous avons rapporté plus haut comment l'introduction de l'acajou était venue transformer le mobilier et fournir des ressources bien précieuses à l'ébénisterie. Le procédé du placage a permis de donner aux meubles de prix très-modéré les belles teintes rouges de l'acajou; d'utiliser, pour une production immense, les belles variétés de dessin formé par diverses espèces, telles que l'acajou moucheté, les loupes, etc.

Sous Louis XV et Louis XVI, les belles laques de la Chine décorées d'or et les meubles en bois de rose de couleur claire furent fort à la mode. Ces deux genres ne s'emploient guère aujourd'hui que pour articles de fantaisie; le dernier surtout est apprécié pour d'élégantes tables à ouvrage pour dames.

Depuis vingt ans, un nouveau bois est venu fournir de précieuses ressources à l'ébénisterie; nous voulons parler du palissandre, que l'on peut considérer comme intermédiaire entre l'acajou et l'ébène; plus foncé que le premier et de ton rouge-noir, il est moins foncé que le second.

Enfin, l'Exposition de 1855 nous a révélé une ressource fournie à l'ébénisterie par l'Algérie, le bois de Thuya, dont les loupes sont d'une élégance de ton admirable, et qui, employé pour de petits meubles, est d'une grande richesse.

Nous avons déjà parlé de la plupart des substances qui se mélangent souvent au bois

pour rehausser l'éclat des meubles; nous ne ferons guères que les rappeler ici en parlant de la décoration des meubles au point de vue de la couleur, après avoir cité d'abord l'emploi des glaces, des marbres, etc., nécessaires pour beaucoup de meubles :

1° L'incrustation en cuivre, élément de décoration essentiel du genre Boule, du style Louis XIV, mélangé avec des figures en bronze doré qui, dans le style Louis XVI, sont seules conservées et viennent s'appliquer sur les faces mêmes des meubles.

2° Le bronze, avec sa couleur propre, mélangé avec l'ébène et le chêne. L'essai fait à l'Exposition par M. Barbedienne, qui y a mis un meuble remarquable autant par la beauté des lignes que par la valeur des bronzes employés, n'a pourtant pas eu le succès qu'on devait espérer. Le meuble en chêne a paru terne et sans éclat à côté du bronze.

3° Enfin, les émaux, les surfaces métalliques gravées, les pierres, la porcelaine peinte, qu'un exposant de 1855 a incrustés dans le bois avec une grande perfection, doivent être employés avec une grande modération et en évitant avec soin des tons criards qui se marient mal avec le bois.

4° Enfin, nous devons citer les peintures, qui ne sont pas, à proprement parler, des décorations de meubles, mais des mélanges de tableaux avec ceux-ci, qui, en général, ne sont pas heureux, l'huile n'ayant pas assez de brillant pour bien se mélanger avec le poli du bois. La peinture sur porcelaine, les émaux pourraient mieux convenir dans quelques cas rares où ce mélange est possible. Nous devons citer aussi les fonds d'or, pour des ornements de style byzantin, employés dans quelques œuvres d'art, mais rarement avec succès.

COULEURS EMPLOYÉES DANS LA DÉCORATION DES PIÈCES D'ORFÉVRERIE ET LA BIJOUTERIE.

ARGENTURE. — DORURE.

L'art de couvrir d'or ou d'argent les surfaces de cuivre, de laiton, etc., est une des grandes ressources des industries que nous avons étudiées section IV, pour donner à ces substances l'apparence et l'éclat de l'or et de l'argent.

On distingue deux dorures, l'une mate et l'autre brillante ; la seconde, réfléchissant la lumière, possède un éclat que n'a pas la première.

Le bronzage ou procédé pour donner au laiton fondu l'apparence de bronze antique, ou celle du bronze florentin d'une riche teinte rougeâtre, est un procédé analogue.

ÉMAUX.

Les émaux sont de véritables verres colorés, formés par la fusion de plusieurs oxydes colorants, mêlés en général avec l'oxyde d'étain, qui rend cette vitrification opaque;

ils sont de couleurs diverses en raison de la nature des oxydes employés; ils adhèrent au métal relativement infusible sur lequel ils sont appliqués, et forment une des ressources les plus utiles de la décoration de la bijouterie, car l'éclat de ces vitrifications, se mariant parfaitement avec celui de l'or et de l'argent, est seul assez brillant pour fournir des colorations convenables[1].

L'art de l'émailleur repose sur une application particulière de la vitrification colorée. Il doit donc, à ce point de vue, être très-ancien, et, en effet, sans s'arrêter aux poteries égyptiennes, les Grecs avaient déjà inventé de se servir d'un excipient métallique. Les émaux anciens sont tous de la nature des émaux incrustés; ce sont des espèces de mosaïques fondues, séparées par du métal et coulées en juxta-position, procédé employé jusqu'au XIVe siècle; ces produits ont en général le caractère oriental.

Dès le XIIIe siècle, l'art de l'émailleur fut inséparable de celui de l'orfévrerie.

A partir du XIVe siècle, on trouve les émaux en apprêt, c'est-à-dire une coloration très-superficielle du métal par les émaux.

Enfin, on arrive à la peinture en émail sur émail, depuis la fin du XVe siècle jusqu'à nos jours.

Dès le temps de saint Éloi, la tradition fait exister des emailleurs à Limoges; dès le XIIe siècle, les émaux de cette ville ont occupé le premier rang dans l'art. Léonard de Limoges fit, sous François Ier, des œuvres admirables qu'on peut visiter dans les collections du Louvre. Il fut le directeur de la manufacture d'émaux que rétablit ce roi, et où l'on executa, d'après les dessins de Raphaël, Jules Romain, Léonard de Vinci, etc., ces plateaux, ces aiguières, ces portraits qui font l'admiration des connaisseurs[2].

C'est la légèreté de la feuille de métal sur laquelle s'appliquent les émaux, la facilité de lui donner des formes élancées qu'il serait presque impossible d'obtenir avec d'autres substances, qui, avec l'éclat des émaux, rendent les produits de ce genre extrêmement remarquables et séduisants. C'est surtout au point de vue des formes qu'ils diffèrent des poteries émaillées qui ont fait la gloire de Lucca della Robbia et de Bernard de

[1] Ce fut seulement en 1632 qu'un nommé Jean Toutin, orfévre de Châteaudun, inventa de faire des émaux épais et opaques sur or.

[2] Noms de quelques émailleurs principaux de Limoges, d'après M. de Laborde et l'abbé Texier :
Abbo, orfévre, maître de saint Eloi, vivant aux VIe et VIIe siècles.
Saint-Éloi—VIIe siècle.
Wilhelmus (frère Guillaume), vivant de 940 à 960.
Vitalis, orfévre à Limoges—1087.
Chatard—1209.
Vital, Pierre de Julien, Ayanba—1389.
Penicaud—1504.
Leonard Limosin—1530 à 1575.
Pierre Courteys—1545 à 1568.
Poncet—1552 à 1625
Jean Limosin—1597 à 1625.
Martial Raymond—1590 à 1608.
Bernard Limosin—XVIe et XVIIe siècles.
Landin, Nouailher, etc., XVIIIe siècle.

Palissy. Nous en donnons pour échantillon une élégante buire faite à Sèvres sur les dessins de M. Diéterle.


Buire émaillée de M. Dieterle.

L'emploi des émaux est la ressource la plus précieuse de la bijouterie, celle qui permet, par le mélange de couleurs aussi éclatantes que l'or qui les entoure, de produire une multitude d'effets charmants. C'est surtout pour former des feuilles avec des émaux verts que cette ressource est utilisée dans les produits les plus ordinaires.

Pour montrer leur talent et lutter avec les plus grandes difficultés, les artistes les plus distingués font quelquefois des « chefs-d'œuvre » représentant des personnages colorés par les émaux, des scènes exécutées en émail; elles représentent un travail et un prix énorme et font la joie des amateurs. Nous doutons toutefois qu'on les appréciât autant, si la difficulté d'exécution plutôt qu'une véritable beauté n'en faisait pas le principal mérite.

Nielles.—L'art de nieller, dit M. Vitet, fort en usage durant le moyen âge, consistait à étendre, dans les tailles d'une gravure exécutée sur l'or et sur l'argent, une composition métallique, espèce d'émail noirâtre (un sulfure métallique), appelé en latin, à cause de sa couleur, « nigellum, » et en italien « niello; » cet émail, qu'on fixait en le mettant en fusion, était ensuite poli avec le reste du métal. L'argent et l'or devenaient brillants dans toutes les parties que le burin n'avait pas entamées; partout, au contraire, où il avait tracé le moindre sillon, la nielle en remplissait le creux, et par sa couleur noire faisait ressortir vivement le dessin de la gravure.

Inventée par les Égyptiens, dit M. de Luynes, peut-être avant l'ère chrétienne, la nielle devint un art de prédilection dans l'Orient; elle paraît avoir été importée par les Byzantins en Russie, à l'époque où les Barbares qui habitaient ce pays se convertirent au christianisme, et il est probable que ce fut aussi de Byzance que les artistes occidentaux du moyen âge reçurent les premières leçons sur l'art de nieller l'argent.

L'usage des nielles, continué en Europe depuis le VIIe siècle jusqu'au XIIe, fut ensuite négligé pendant un long espace de temps; il fut repris dans le XVe siècle et presque complétement abandonné de nouveau. Ce procédé, que Wagner rapporta en 1825 de la Russie, a été souvent appliqué de nos jours à de menus objets de bijouterie courante, à des œuvres d'un ordre plus élevé, comme nous l'avons rappelé plus haut.

C'est la nielle qui a mené directement à l'impression en taille-douce; il n'y avait qu'à tirer des épreuves des gravures faites pour nieller, après en avoir rempli les tailles de noir, et presser sur un papier pour créer ce mode d'impression; or c'est ce qui a été fait souvent pour tirer épreuve de la nielle et en juger le travail. C'est une épreuve de nielle considérée comme une estampe, et dont on a retrouvé la gravure sur une pièce d'orfévrerie existant à Florence, qui a servi à établir exactement la date de l'imprimerie en taille-douce, en 1452, par Tomaso Finiguera, orfévre de cette ville.

Passons maintenant aux colorations considérées en quelque sorte comme but, c'est-à-dire aux industries dans lesquelles les couleurs ne sont pas employées, comme dans les cas précédents, pour décorer des objets déterminés, mais dont les produits ne sont que des moyens de supporter et d'utiliser les colorations. Tels sont les papiers et les étoffes.

COLORATION DES PAPIERS ET ÉTOFFES.

CHROMO-TYPOGRAPHIE. — CHROMO-LITHOGRAPHIE.

Chromo-typographie. — Au lieu d'encre noire, on peut employer dans l'imprimerie typographique des encres de couleur, préparées également avec de l'huile cuite, dans laquelle on incorpore des substances colorantes au lieu de noir de fumée. En imprimant sur la même feuille, et faisant en sorte que les contours obtenus par plusieurs gravures diverses soient disposés de façon à se juxtaposer, on a tous les effets qui peuvent être obtenus à l'aide de teintes plates. L'Exposition de 1855 a montré des œuvres remarquables obtenues par ce procédé; et parmi celles-ci on doit placer au premier rang celles de M. Silbermann de Strasbourg et celles de l'Imprimerie impériale d'Autriche.

Chromo-lithographie.—La facilité avec laquelle on dessine sur diverses pierres les



parties qui doivent donner des couleurs différentes (après avoir reporté le dessin principal, tracé sur une première pierre) a rendu l'emploi de la lithographie bien plus fréquent que celui de tous les autres procédés, pour obtenir des impressions en couleur. Cette facilité pour obtenir un dessin colorié en 20, 30, 50 couleurs et tons différents, a fait tenter en lithographie des œuvres remarquables, et fait naître de nombreuses tentatives d'imitation des œuvres d'art. Nous avons fait apprécier au commencement de ce chapitre pourquoi de semblables tentatives ne pouvaient réussir complètement; mais la chromo-lithographie n'en a pas moins un rôle très-important à remplir dans l'industrie pour remplacer l'enluminure, et vulgariser des œuvres où l'emploi déjà étendu des couleurs habitue l'œil à en sentir l'harmonie. Des imitations de petits tableaux obtenues à l'aide de la lithographie ont paru dans ces derniers temps et ne manquent certainement pas d'intérêt, surtout quand le travail est terminé par l'impression à l'aide d'une pierre gravée à l'acide, dont la surface n'est plus plate, ce qui donne au produit en partie l'aspect de véritables peintures, condition à laquelle satisfont les œuvres dont nous allons parler.

Taille-douce. — Dans ces derniers temps on est parvenu à obtenir, à l'aide de l'impression en taille-douce, des impressions en couleurs légères, des aquarelles d'un admirable éclat, supérieures à ce qui avait été tenté antérieurement. La gravure en creux qui permet de varier les épaisseurs des couleurs et a sous ce rapport une supériorité réelle sur les deux procédés ci-dessus, qui ne peuvent employer dans tous les cas qu'une même épaisseur de couleur, paraît tout à fait propre aux effets de modification des couleurs par transparence, par superposition des teintes, comme aussi pour permettre l'imitation du grain du papier, de la toile, dans des imitations curieuses de peinture à l'huile, par une dernière impression d'une surface grenue.

Le procédé dû à M. Dujardin, perfectionnement de tous les essais analogues tentés à l'aide de la taille douce, repose sur une donnée logique et extrêmement remarquable. Il n'obtient pas ses impressions à l'aide d'un nombre infini de planches, ce qui ferait de la difficulté vaincue une œuvre de patience seulement; il n'emploie en général que 4 planches pour déposer les couleurs primitives et former les couleurs composées par transparence, c'est-à-dire dans l'ordre suivant :

1° Le jaune pour toutes les parties qui doivent rester jaunes, et celles composées de jaune et d'une autre couleur, les verts, les orangés;

2° Le bleu qui donne les bleus, les verts par superposition sur le jaune, et cela dans des tons variables en raison de l'épaisseur du bleu;

3° Le brun qui donne les ombres, les contours;

4° Enfin, le rouge qui donne les rouges, les violets, et par lequel on finit, parce que cette couleur possède l'éclat qui donne une apparence artistique à une œuvre.

Ces couleurs sont en général suffisantes pour lutter avec l'enluminure à la main, car on arrive avec 4 planches seulement (deux rouges et deux bruns par exemple), ou tout au plus avec 5 ou 6, à des effets très-remarquables. Toutefois il faut bien dire que, pour atteindre ces résultats, l'intervention d'un graveur et d'un imprimeur habile dont le travail a quelque chose d'artistique, bien éloigné de l'exécution purement mécanique, est indispensable.

IMPRESSION DES PAPIERS PEINTS.

L'industrie du papier peint, qui nous vient de Chine, d'où nous recevons encore des produits peints à la main toujours très-curieux, se propose la décoration des habitations, et y parvient en remplaçant, soit les tentures d'étoffes qu'elle a le plus souvent pour objet d'imiter, soit les peintures à la fresque. Rarement elle se propose des reproductions d'objets d'art, ou bien ce n'est que comme tour de force, pour ainsi dire, pour montrer l'étendue possible des ressources du procédé technique, du procédé le plus artistique, sans contredit, que possède l'industrie, plutôt que comme fabrication d'un produit commercial.

Les couleurs étant déposées sur le papier préparé, à l'aide de planches de bois gravées, comme dans la fabrication des toiles peintes, on voit que, théoriquement, toutes les reproductions de dessins sont possibles. Cela est vrai notamment pour les ressources que peut offrir l'architecture, qui fournit beaucoup de motifs, la décoration des appartements ayant de sa nature quelque chose de monumental.

Tous les styles se traduisent dans les papiers peints et se matérialisent par l'exécution facile des planches propres à reproduire le dessin-modèle de l'artiste. Cette facilité, qui donne à l'artiste l'audace de tenter des effets souvent heureux, est aussi la cause de bien des produits de mauvais goût, dans lesquels tous les genres sont confondus, ce qui, plus encore que chez nous, a lieu dans les pays étrangers qui ont essayé de lutter avec la France pour cette fabrication, et qui n'ont pas une école d'artistes peintres aussi distinguée que la nôtre pour donner l'impulsion au goût [1].

Dans les derniers progrès de la fabrication, il faut citer les superpositions de couleurs qui font varier la dernière posée en raison de celle déposée la première. C'est le bon emploi de cette ressource qui a donné à nos papiers peints un aspect plus artistique dans ces dernières années. Elle est venue s'ajouter heureusement au procédé employé dès l'origine de cette industrie pour obtenir les dégradations de teintes, et qui consiste à superposer partiellement la même teinte un certain nombre de fois.

Nous parlerions difficilement de l'harmonie des couleurs qui fait le charme des papiers peints; le procédé technique nous manque pour donner ici, à un prix modéré, des exemples propres à servir à développer le goût comme nous pouvons le faire pour des dessins, pour les contours. C'est en étudiant des collections de produits fabriqués qu'on y parviendra, après, bien entendu, la première de toutes les études, celle des chefs-d'œuvre de la peinture.

1 La fabrication du papier peint est fixée, à Paris, au faubourg Saint-Antoine, et y occupe une nombreuse population qui enfante avec une rapidité merveilleuse de nouveaux modèles, de telle sorte que la production par procédés mécaniques, pour lesquels les moyens de fabrication sont longs à créer, est constamment arriérée. Il s'y fait bien des produits de faible valeur artistique parmi ceux créés à bas prix et pour satisfaire tous les goûts, mais il s'y fait également des œuvres remarquables, qui dépassent en quelque sorte la sphère où doit se tenir l'industrie du papier peint. Nous citerons M. Delicourt, et M. Desfossé, le successeur de l'ancienne maison Mader, comme chefs des principales maisons où se fabriquent aujourd'hui ces produits hors ligne.

Revenons à la nature des dessins qui se répètent le plus souvent dans ce genre d'industrie.

La décoration à l'aide de papiers peints ayant pour objet de mettre en manufacture l'ornement des appartements, au lieu de la créer sur place, afin de les appliquer par un simple collage, il va sans dire que, dans la plupart des cas, les décorations sur grande échelle se font par une série de panneaux qui forment un ensemble.

En fabrique, au point de vue des dessins et en laissant de côté les procédés de fabrication qui donnent les trois classes de papiers, ordinaires, satinés et veloutés, les deux derniers produisant des effets d'éclat et de richesse tout particuliers, les veloutés notamment rappelant les velours, la sculpture par leur relief, on distingue :

Les papiers à raies, écossais, coutils, dont la décoration résulte de combinaisons de lignes droites;

Les papiers à ornements classiques, grandes lignes de cadre, panneaux à sujets, genre antique, retraçant les harmonies architecturales;

Les papiers à arabesques, à enroulements de fantaisie, qui ne rappellent que vaguement des sujets déterminés, genre dont le papier représenté dans la figure ci-contre



Papier à arabesques.



Papier à fleurs.

peut donner idée : c'est, avec les papiers rayés, la fabrication la plus courante, celle qui s'obtient en général par des gris de plusieurs tons, sans arriver aux couleurs;

Les papiers imitant les bois, les marbres, etc.;

Les papiers à fleurs et bouquets, les uns tels que celui représenté dans la figure ci-dessus, employant le rose et le vert principalement, l'association de couleurs qui plaît le plus à l'œil; les autres absolument semblables aux étoffes perses dont nous donnons plus loin un dessin et qui s'impriment avec les mêmes planches : ce genre est le plus brillant par l'harmonie des couleurs;

Les papiers genre régence, ornements formés de lignes ondulées rappelant le style Louis XV.

Parmi les progrès les plus remarquables de ces dernières années, après la superposition des couleurs dont nous avons parlé plus haut et dans un autre ordre d'idées, nous devons citer les bordures ou galeries découpées dues à M. Guichard de Paris et qui sont d'un excellent effet. Le même artiste a obtenu aussi d'excellents résultats en chargeant les dessins dans la partie destinée à s'approcher des plafonds, imitant, par exemple, des retombées d'étoffes, des pendentifs, en un mot, en développant l'idée d'assimilation des papiers peints aux tentures pour obtenir de riches effets.

Citons enfin les ombrés de Spœrlin de Vienne, un des plus beaux progrès accomplis dans la fabrication depuis vingt ans.

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

Le tissage, comme nous allons bientôt le dire, produit des étoffes dont la surface est ornée de dessins colorés de forme et de nature quelconque, du moins quand on emploie toutes les ressources qu'offrent les méthodes les plus perfectionnées. Ces dessins sont, par la nature de leur exécution, parfaitement distincts du fond et des dessins voisins, et paraissent en saillie par l'effet de la courbure du fil qui s'infléchit sur leurs contours, et qui vient en ces points s'insérer dans les fils de la chaîne.

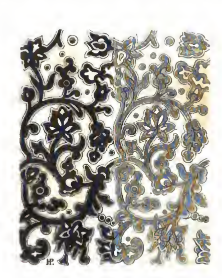
Le défaut des étoffes obtenues par tissage est d'être d'un prix élevé, leur fabrication exigeant nécessairement un travail considérable. Il n'en est plus de même de celles ornées de dessins colorés par simple impression, c'est-à-dire par application de couleurs à l'aide de surfaces gravées, qui, si elles n'ont pas les qualités des étoffes tissées que nous venons de rappeler, peuvent posséder la même richesse de coloration, et causer quelquefois une illusion complète, une imitation très-satisfaisante de produits chers par des produits à bon marché, ce qui explique le développement de la belle industrie de l'impression sur étoffes. Elle est même parvenue dans quelques cas à obtenir des résultats que ne fournirait pas le tissage, notamment de petites fleurs très-légères sur étoffes très-fines, transparentes, des teintes fondues, dégradées, etc.

La peinture des étoffes paraît très-ancienne dans l'Inde; elle l'enseigna sans doute à l'Égypte, qui, sous les Ptolémées, posséda de grandes manufactures de toiles peintes et fournit Rome sous l'empire, comme on le voit dans Pline. Au siècle dernier, les indiennes provenant de l'Inde tenaient une grande place dans la consommation. Elles ont disparu entièrement aujourd'hui devant les admirables progrès mécaniques et chimiques accomplis dans cette belle industrie de l'impression sur étoffes,

que l'on doit considérer, dans son état actuel d'avancement, comme entièrement moderne [1].

Une petite gravure en relief, dite *cachet*, forme en général le point de départ de toute impression ; multipliée et disposée en rectangles, pentagones, elle forme la planche ou (et alors elle est exécutée d'abord en relief sur une petite molette d'acier afin de produire un creux) le rouleau cylindrique en métal servant à l'impression de chaque couleur.

Nous devons faire remarquer que l'effet de l'impression, pour une même gravure, est en raison de la finesse de l'étoffe, du nombre et de la force des fils contenus dans



le centimètre carré. C'est ce qu'une figure fera facilement comprendre, et elle permettra d'apprécier la légèreté ainsi obtenue sur les étoffes à fils peu serrés, transparentes.

On parvient par impression à reproduire la plupart des effets obtenus par tissage ; toutefois, ce genre de fabrication ne cherche pas en général à lutter contre les produits riches. Nous pouvons établir comme divisions principales dans les objets de cette fabrication :

[1] Ce sont les progrès modernes de la chimie qui ont surtout permis le développement des manufactures d'étoffes imprimées, en améliorant les procédés et lui fournissant les matériaux, les produits chimiques à bon marché. Mulhouse est le centre de la fabrication la plus avancée ; Rouen, Glascow, Manchester, les lieux des fabrications les plus considérables. Grâce aux machines, la puissance de production de ces centres est, pour ainsi dire, illimitée.

1° Les petits dessins au rouleau, tant fleurs que pointillés de tout genre pour étoffes légères, peu chargés en couleur;

2° Les impressions communes réclamant de grandes masses de couleurs et exécutées soit avec la perrotine, soit avec le métier à surface. La première gravure ci-dessous se rapporte à ce genre, qui imite souvent aujourd'hui les fleurs si brillantes du cachemire de l'Inde.



Impression genre Cachemire. Toile Perse.

3° Les perses, dessins à fleurs et feuillages, étoffes qu'on recouvre d'un apprêt extrêmement brillant; très-convenables pour tentures et meubles d'été. Nous en donnons un échantillon par la gravure;

4° Les fondus, obtenus soit par des gravures où les traits sont d'épaisseur décroissante, soit par procédé mécanique servant à étaler la couleur;

5° Enfin les imitations des brochés et étoffes tissées en général, les écossais, les châles imprimés, etc.

La question d'art est ici la même que pour les papiers peints, sauf la différence d'emploi des produits destinés à l'habillement, et la difficulté peut-être plus grande d'impression.

PEINTURE.

Après avoir passé en revue l'emploi multiple des colorations dans l'industrie par application des couleurs sur des surfaces, il nous faut dire quelques mots de la peinture. Bien que cet art ne rentre pas dans notre cadre, et soit à juste titre l'objet de nombreux et savants ouvrages, néanmoins il n'est pas sans intérêt de rappeler que, dans les lignes générales de son histoire, elle se prête parfaitement aux divisions que nous avons établies, d'après les manifestations des idées régnantes dans chaque siècle, à l'aide des produits industriels et de leur décoration; qu'elle a subi les mêmes influences. C'est ce qu'il nous sera facile d'établir brièvement et sans trop nous écarter du plan de notre travail.

Grecs.—Il ne nous est rien resté de la peinture des Grecs (exécutée, pense-t-on, à la cire); mais le caractère de cette peinture ne saurait être douteux d'après les décorations céramiques que nous possédons et surtout d'après le goût de cette nation. Le peuple qui admirait avec tant d'enthousiasme la sculpture grecque, n'aurait pu accepter des peintures chargées, confuses. Zeuxis, Appelles ne devaient pas se borner à des œuvres décoratives; les récits des auteurs contemporains nous rappellent l'admiration qu'excitait leur reproduction excellente d'objets animés. Nous ne saurions nous représenter la peinture grecque comme très-différente de celle des Byzantins dont nous allons parler, peinture qui conservait les traditions grecques, mais non le sentiment si parfait de la beauté.

Romains. — Leurs peintures à la cire nous sont connues par des restes trouvés à Pompéi et à Herculanum, et, d'après la tradition, se rapprochent des peintures grecques. Toutefois l'art chez les Romains avait perdu cette finesse, cette élégance de l'art grec; il était devenu, comme la religion, plus grossier. Gênés dans la reproduction des effets de lumière, les artistes se bornaient à représenter des personnages isolés, d'un ton mat et égal. Leurs œuvres se rapprochaient de la décoration des vases campaniens. C'est surtout aux mosaïques que les Romains demandaient des représentations qui leur paraissaient parfaitement suffisantes (remarquons que la perspective est toute moderne) et les séduisaient par leur éclat.

Byzantin-roman. — Le christianisme, en créant un mouvement d'exaltation religieuse qui vint se mêler aux traditions affaiblies de l'art grec, inspira, après que la fureur des iconoclastes qui associèrent l'art grec et le paganisme fut passée, les peintures byzantines. Des fonds d'or, de couleurs franches, parsemés d'étoiles; des profils très-purs, des auréoles d'or, peu d'étude de la nature, un assemblage de disproportions monstrueuses entre les figures du Christ et celles des saints personnages, mais avec cela une heureuse alliance de tons qui semblent rappeler un écho affaibli de l'art de l'Inde : tels sont les caractères principaux de ce style.

Des catacombes de Rome sortit un art chrétien qui, empruntant beaucoup au

byzantin, chercha à rendre l'idée, l'aspiration chrétienne. Celle-ci devait, quelques siècles plus tard, trouver dans le bienheureux Fra Angelico de Fiesole son dernier et plus pur interprète, au seuil de la païenne renaissance.

A l'Occident, les décorations des églises, bien qu'inspirées par les préceptes de l'église d'Orient, ne produisent pas d'œuvres bien remarquables. C'est moins là qu'il faut aller chercher les monuments de la peinture au moyen âge que dans l'enluminure des manuscrits. En effet, presque toujours ceux-ci étaient illustrés à l'aide d'initiales dessinées sur un fond bleu ou un fond d'or; bien souvent ces compositions formant de petits tableaux exécutés avec des couleurs à l'eau en général, et fixées sur le parchemin du volume à l'aide de recettes assez compliquées, acquéraient sur la peau un éclat fort apprécié. Ces miniatures ou enluminures, étaient souvent le produit du travail de véritables artistes, de moines qui étaient les gens les plus instruits de leur époque, et qui, usant leur vie à de semblables ouvrages, eussent mérité parfois une véritable célébrité, si la postérité se fût intéressée à ce genre de travaux comme elle s'est passionnée pour la peinture à l'huile. On possède des Heures de Charlemagne qui renferment des dessins remarquables. Dans la maigreur des plis, dans l'emploi du vermillon et du bleu non rompu, dans les hachures d'or des draperies, on ne peut méconnaître l'influence byzantine sur ces œuvres de l'Occident. Il faut aussi citer comme très-remarquables deux Bibles de Charles le Chauve où se trouvent des compositions d'un grand intérêt, dues à un artiste nommé Ingobert. Ces compositions, étudiées avec le plus grand soin, sont les œuvres d'art, les tableaux d'histoire de l'époque. Le goût s'en maintint jusqu'à la découverte de l'imprimerie.

En général, les enluminures du VIIIe, du IXe et du Xe siècle, sont, pour le dessin, inférieures à celles des siècles précédents, mais elles les surpassent pour la vivacité des couleurs et l'originalité de la composition. Les fonds bleu et or sont prodigués et les détails exécutés avec une fidélité minutieuse.

Il suffit d'examiner des manuscrits précieux de diverses époques pour reconnaître l'influence des styles qui sont manifestes pour tous les yeux dans les grandes modifications de la peinture et de la sculpture. C'est ainsi que les miniatures ont conservé longtemps la roideur de la manière byzantine, les formes conventionnelles du style roman.

GOTHIQUE. — On peut suivre bien facilement dans les manuscrits la transformation du roman en gothique. Le genre de ce premier style, qui n'est plus du tout celui de Jean Fouquet (de Tours), qui vécut sous Louis XI et laissa de véritables chefs-d'œuvre.

La perspective va poindre; elle se rencontre dans les œuvres de Fouquet avec un emploi du clair-obscur inconnu jusqu'à lui. Les Antiphonaires de la Libreria (sacristie) de Sienne forment une série de volumes in-folio remplis de lettres initiales d'une rare beauté d'exécution. Le plus célèbre miniaturiste était le chanoine don Guilio Clovio, qui vivait au XVe siècle; ses petits ouvrages ornés de fleurons élégants sont de véritables tableaux.

Après l'invention de l'imprimerie, et bientôt après la découverte de la peinture à l'huile, les enluminures sur peau vélin devinrent plus rares, et les artistes se livrèrent surtout à la peinture des portraits à l'aide des mêmes procédés.

RENAISSANCE.—Nous nous garderons bien de vouloir esquisser l'histoire de la peinture à cette époque de merveilles. Nous rappellerons seulement que Cimabué reçut

ses leçons des mosaïstes byzantins; que l'école du Pérugin, d'où sortit Raphaël, procédait directement de la tradition byzantine modifiée et singulièrement agrandie par Giotto et ses nombreux élèves dans les belles fresques dont ils couvraient les murailles et les voûtes des églises du XIIIe et XIVe siècle, et que Lucas Crauach en Allemagne, qui le premier s'illustra dans la peinture à l'huile, tout nouvellement découverte, s'inspirait évidemment du style gothique, que la renaissance allemande et Albert Durer allaient transformer.

La peinture à l'huile, trouvée de 1420 à 1430, par Jean Van Eyck, dit Jean de Bruges, en facilitant les procédés matériels de l'art, vint aider aux progrès qui tendaient à se faire jour de toute part. Jusqu'à Masaccio, on n'employa, en Italie, que les procédés de la peinture byzantine. On sait quelle place la fresque occupa dans l'art de la renaissance, combien les fresques de Raphaël notamment rappellent, en les perfectionnant les peintures d'Herculanum; et que c'est en visitant les thermes de Titus qu'on venait de découvrir, qu'il conçut la décoration des loges du Vatican.

Toute l'œuvre de Raphaël personnifia avec éclat la restauration des lignes de l'art grec dans leur pureté, en même temps qu'il y mêla cette grâce merveilleuse qui lui a valu le nom de *divin*. Michel-Ange fut le représentant le plus hardi des tendances nouvelles des artistes de la renaissance; il résuma dans ses puissantes fresques toutes les données modernes de la science de l'art. Titien, le Vinci, le Corrège, trois beaux génies encore, concoururent avec le Véronèse et André del Sarto à développer avec une glorieuse activité les progrès rapides de l'art de peindre, qu'à leur suite et plus tard le Dominiquin, les Carraches, Guido Reni, etc., eurent la tâche de continuer.

Il serait inutile de compléter l'énumération de la pléïade d'artistes éminents qui ont fait, à cette époque, de la peinture le premier des beaux-arts; contentons-nous de citer ici, après les illustres maîtres, un artiste que François Ier ramena d'Italie, et qui peut être pris pour type de l'emploi de la peinture dans la décoration industrielle; nous voulons parler du Primatice. Les fresques de Fontainebleau, dues à la main facile de ce fécond artiste, ainsi que ses peintures à l'huile que possèdent le Louvre et le musée de Cluny, montrent bien le style élégant de cette époque, mieux que les tableaux des grands maîtres préoccupés d'exprimer des sentiments profonds plutôt que de produire des images gracieuses et séduisantes.

École flamande. — Avant de parler de la peinture sous Louis XIV, nous ne pouvons nous dispenser de faire une exception à toutes nos omissions de noms d'artistes, en faveur de Rubens et de l'école flamande; ce qui nous fournit une vérification du fait déjà signalé par nous, de la relation intime qui existe entre l'art et l'industrie, et fait toujours concorder leurs grands développements à cause de la grande influence qu'ils exercent l'un sur l'autre. Les germes d'art qui existaient nécessairement dans un pays que l'on a vu exceller si longtemps dans les tapisseries, l'orfévrerie, la sculpture sur bois, etc., devaient produire une école puissante; ce fut l'école flamande.

Louis XIV.—Chacun sait que Lebrun fut le peintre de Louis XIV; tout le monde a vu ses batailles d'Alexandre, sous les traits duquel il s'attachait sans cesse à représenter le grand roi. Chef suprême de la direction des travaux artistiques, super-intendant des manufactures royales, Lebrun ne pouvait donner aux travaux d'industrie que nous avons étudiés d'autre caractère que celui que l'on reconnaît dans ses tableaux, qui sont la véritable expression du style Louis XIV en peinture. Grandeur théâtrale, no-



blesse un peu guindée, couleurs éclatantes, etc., telles sont les tendances de toutes ses œuvres, qui étaient bien plus estimées à la cour que celles du Poussin, ouvrages profonds par leur haute philosophie, mais sévères do style et de ton; d'ailleurs Poussin vécut presque constamment à Rome. Les autres peintres, leurs contemporains, sans même en excepter Lesueur, ne paraissent pas avoir eu d'influence sérieuse sur le mouvement industriel de l'époque.

Louis XV. — Sous Louis XV, la peinture change tout à fait de caractère et se modifie aussi profondément que les mœurs. Vanloo, Boucher, Watteau, etc., avec leurs petites scènes familières ou imaginaires et leurs bergeries, furent les complices d'une époque qui ne connaissait plus ni l'idéal, ni le grandiose, mais concevait seulement la grâce et la volupté. A leur suite se fit jour un commencement de réaction favorable au côté moral de la peinture. Chardin et Greuze préparèrent le développement du genre intime dans sa plns saine acception.

XIXe siècle. — Au commencement du siècle, David, avec une grande force de volonté et un talent supérieur, mit à néant les restes de la tradition de l'époque de Louis XV et Louis XVI, et remit en honneur la pureté classique en soumettant l'étude du modèle vivant aux exigences de formes et de style de la plastique antique. Il est constant aujourd'hui qu'il outra un mouvement heureux en soi. Dominé exclusivement par l'absolutisme de ses principes révolutionnaires (qu'il avait conservés seulement en peinture), laissant de côté toute tradition nationale, il exagéra l'étude du nu jusqu'à vouloir faire de la sculpture avec le pinceau, sans laisser une part suffisante au charme du coloris.

Enfin parmi les grands peintres vivants, ou dont le souvenir est encore trop présent à toutes les mémoires pour que nous nous permettions de les juger dans ce travail, tels que Prond'hon, Géricault, Gros, etc., on doit citer :

En France. — MM. Ingres, le maître illustre qui rappelle dans ses œuvres la beauté, la précision raphaëlesques; — Ary Scheffer, le peintre de l'idée, de l'aspiration rêveuse et doucement mélancolique; — Vernet, Delaroche, etc., dont les œuvres sont toujours accueillies avec bonheur par un public qui sait les apprécier à des titres bien différents : le premier pour sa verve toujours jeune et l'élan de son pinceau, le second pour un goût exquis d'arrangement; — Delacroix, coloriste puissant, qui semble négliger systématiquement le dessin; — Decamps, dont la palette est si étonnante d'accent et de vigueur; — Meissonnier, l'intelligent traducteur de la peinture hollandaise, etc.

En Allemagne. — Overbeck, le restaurateur de la peinture catholique, qui rappelle les pieux archaïstes de la renaissance par la pureté naïve des contours et la pensée religieuse à laquelle tout est sacrifié dans ses mystiques compositions; l'école de Munich et celle de Dusseldorf, représentées par MM. Cornélius et Kaulbach, etc., écoles qui ne sacrifient pas autant à l'effet des couleurs que les maîtres italiens, et peut-être pas assez en ce qu'elles semblent mettre trop de recherche de pensée dans leurs œuvres.

En Angleterre. — Depuis Reynolds et Lawrence, deux admirables peintres de portraits qui rappelaient Van Dyck et son éclatant coloris, les œuvres les plus remarquables chez cette nation sont celles des peintres réalistes, qui donnent une place très-grande aux représentations des détails de la nature. Il y a parmi eux assez de talents pour constituer une école qui, quoi qu'on en dise, pourra amener les productions peintes de l'industrie anglaise à un haut degré de perfection.

SECTION VI

RÉUNION D'ÉLÉMENTS COLORÉS

Les procédés dont nous venons de parler dans la division précédente, et qui permettent de colorer les diverses matières par l'application de substances colorantes, par des moyens semblables à ceux de la peinture, ne sont pas les seuls employés dans l'industrie. Il est une série très-nombreuse de fabrications qui tirent leur charme de la réunion, soit d'éléments ornés de leurs couleurs naturelles, soit d'éléments préalablement teints en couleurs diverses. On va voir combien de procédés industriels résultant de la nature du travail à effectuer pour obtenir un produit utile permettent, par l'utilisation des ressources dont nous parlons ici, d'obtenir des produits ayant une élégance qui lui donne quelquefois une véritable valeur artistique.

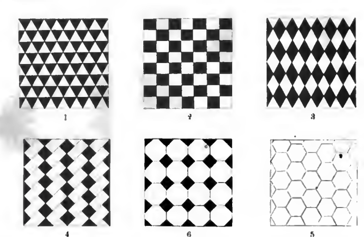
Avant tout, nous étudierons en elles-mêmes les combinaisons auxquelles peuvent donner naissance les réunions d'éléments colorés employés pour les décorations.

COMBINAISONS.

Toutes les figures encadrées entre des séries de lignes parallèles équidistantes peuvent servir à couvrir une surface déterminée avec un seul élément ou avec des éléments de forme semblable, mais diversement colorés ; ce qui peut fournir des décorations très-variées comme nous allons le voir bientôt.

Les figures 1 et 2 représentent les tracés obtenus par des lignes parallèles équidistantes, ce qui donne soit une réunion de carrés (fig. 2), soit des triangles équilatéraux, qu'on peut supposer alternativement blancs et colorés, ou réunis deux à deux par une même face, ce qui donne un lozange.

Les figures formées par deux séries de lignes parallèles équidistantes pour chaque série seulement sont encore souvent employées dans l'industrie du parquet pour couvrir une surface avec un seul ou un petit nombre d'éléments. (Voir la fig. 4, et plus loin PARQUET.)



Si au lieu de deux series de lignes parallèles on en emploie trois, on rencontre une solution du problème de couvrir une surface avec un seul élément; c'est l'hexagone régulier (fig. 5). On peut, avec deux pièces différentes, employer de même l'octogone régulier mêlé avec un carré (fig. 6) de même longueur de côté.

Ce n'est que par des figures régulières ayant les formes dont nous venons de parler qu'on peut couvrir une surface avec un ou deux éléments seulement, ce qui est fort à considérer pour plusieurs industries, notamment celle du parquet. Il n'en est plus ainsi des autres figures simples, des pentagones, par exemple, entre lesquels subsisteraient des vides.

La condition que nous énonçons ici, essentielle pour le parquetage, le carrelage, n'est plus à considérer lorsque les éléments employés peuvent prendre des formes variables, lorsqu'on admet nombre d'éléments différents, les formes des dernières pièces à placer étant déterminées par les vides que les premières laissent entre elles.

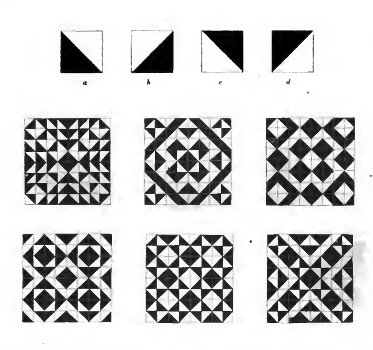
La coloration partielle d'éléments de même forme qui servent à couvrir une surface peut donner des combinaisons assez curieuses. Nous choisirons celle très-remarquable de carrés, ombrés, colorés dans une moitié divisée par une diagonale; les combinaisons peuvent être très-nombreuses, plusieurs même sont assez agréables. Elles ont fait l'objet d'un traité publié par le P. Dorat en 1722, et leur étude montre bien tout le parti que l'on peut tirer d'éléments analogues couverts de dessins, de la combinaison des vignettes, qui constitue une des ressources importantes de la décoration industrielle, surtout pour obtenir des produits dont le prix de revient soit modéré.

On voit d'abord (fig. *a*, *b*, *c*, *d*) que, suivant la situation qu'il peut prendre, un seul carreau forme quatre dessins différents.

De la combinaison de ces quatre figures deux à deux, il résultera soixante-quatre arrangements différents, car sur chacun des quatre côtés des carreaux représentés dans les fig. *a*, *b*, *c*, *d*, on peut placer un autre carreau dans quatre positions ; on a donc en tout 4 × 4 × 4 ou 64 arrangements.

Mais de ces 64 il y a une moitié qui ne fait que répéter l'autre dans le même sens, ce qui les réduit à 32 ; on les réduirait à 10 si on n'avait pas égard à la situation.

On pourrait semblablement combiner 3, 4, 5 carreaux les uns avec les autres ; on trouverait que 3 carreaux peuvent former entre eux 128 dessins, que quatre en forment 156, etc.

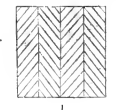


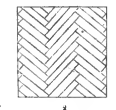
Nous donnons ici quelques-unes des figures les plus remarquables qui naissent des combinaisons possibles d'un seul élément. Dès qu'ils sont un peu nombreux, la grande multiplicité des combinaisons possibles fait bien comprendre comment on peut songer à exécuter une foule de dessins par la réunion d'un nombre assez restreint d'éléments colorés.

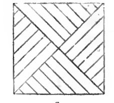
SURFACES PLATES FORMÉES DE MATIÈRES DIVERSES JUXTAPOSÉES.

Carrelage.—Le carrelage formé d'éléments nécessairement égaux dans la pratique commune (en général on n'en emploie qu'un seul, l'hexagone), utilise pour la décoration les diverses combinaisons dont nous avons parlé plus haut. Les formes en sont donc peu nombreuses; ce qui varie à l'infini, bien que l'emploi en soit rare, c'est la décoration, la nature des dessins appliqués sur les carreaux peints ou autres substances employées, de telle sorte que toute la surface soit couverte de dessins répétés dont les contours deviennent plus apparents que les lignes géométriques formées par les joints. Il en est ainsi des carreaux colorés employés dans les monuments romans, dont nous avons donné plus haut un échantillon, et aussi dans l'architecture arabe; on sait qu'ils constituent l'élément essentiel des décorations de l'Alhambra et qu'ils se retrouvent dans tous les monuments arabes.

Parquet. — Le parquet est composé en général de pièces plus longues que larges, et forme par suite, le plus souvent, deux séries de lignes parallèles, comme dans les figures 1 et 2. Dans la pratique ordinaire on se borne aux systèmes dont nous venons


1


2


3

de parler, quelquefois on emploie quelques décompositions de carrés qui constituent forment un élément nouveau formé à l'aide de pièces diverses telles que celles représentées figure 3, ou ci-dessus en traitant des combinaisons. Ce n'est que pour des parquets très-riches qu'on y ajoute les ressources assez limitées de quelques dispositions simples de filets, par exemple de grecques pour bordures, obtenues en bois de diverses couleurs.

La solution artistique la plus brillante de cette question, au point de vue architectural, réside dans la mosaïque, qui n'est plus limitée par la forme des éléments, celle-ci variant au contraire en raison du dessin à exécuter. Elle peut être exécutée en bois pour quelques cas d'ornementation de meubles; ce fut l'imitation de la mosaïque qui, à la renaissance, fit naître la marqueterie en bois qui jeta tant d'éclat à Florence et à Vérone.

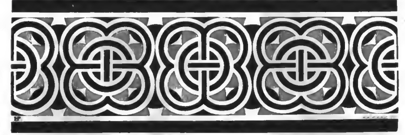
L'incrustation en cuivre, si fréquemment employée en ébénisterie de nos jours à l'imitation des beaux produits de l'époque de Louis XIV, et qui donne de si beaux

résultats, rentre tout à fait dans le cas qui nous occupe. Nous aurions à étudier les styles des dessins formés par ce travail, s'ils ne rentraient pas naturellement dans le cas considéré ci-dessus des vignettes et compositions variant par styles; ce n'est qu'un mode particulier d'obtenir des dessins avec des filets de métal, d'ivoire, etc.

MOSAIQUE.

La mosaïque antique s'obtenait par la juxta-position de petits cubes de pierres naturelles ou de compositions de diverses couleurs, fixées dans un ciment et polies pour en faire valoir les nuances et les teintes. Les Romains en faisaient un emploi très-considérable; c'était une décoration qui s'alliait parfaitement avec le développement de leur architecture et que faisait rechercher la chaleur de leur climat. Elle constituait chez eux un mode usuel de représentation des objets à l'aide d'éléments colorés, et était leur véritable peinture.

La mosaïque fut acceptée par l'Église, au moyen âge, comme l'art de décoration par excellence. Non-seulement on l'employa pour les carrelages, les dallages, et, dans ce cas simple, on employa surtout des combinaisons de formes géométriques qui acquéraient souvent une grande élégance, comme dans le pavé de la cathédrale de Palerme



Mosaïque de la cathedrale de Palerme.

que nous reproduisons, mais encore pour la représentation de sujets de sainteté. Les travaux des mosaïstes byzantins eurent une grande influence sur la peinture à l'époque de la renaissance, et l'on ne saurait faire un plus grand éloge de la perfection des résultats obtenus que de dire que des artistes éminents acceptaient comme de véritables peintures ces compositions obtenues par la juxtaposition de petits éléments colorés, de teintes plates de petites dimensions. Ghirlandajo proclamait la mosaïque la véritable peinture pour l'éternité.

C'est Rome qui est aujourd'hui la patrie des plus beaux travaux en ce genre; non-seulement on y prépare de très-belles collections de petites baguettes d'émaux colorés qui fournissent les éléments de la mosaïque, et ont de beaucoup accru la richesse de la palette de l'artiste, mais on y accomplit des travaux qui exigent un travail et une habileté incroyables. On a pu voir à l'Exposition de Paris un admirable travail

de M. Galland, représentant le Forum romain, dont les dimensions atteignent 1m,50 sur 75 centimètres.

Les mosaïques florentines de marqueterie des xve et xvie siècles se composent de plaques ou panneaux de marbres blanc, noir, vert, etc., ou de pierres dures de diverses couleurs découpées suivant les dessins qu'on veut produire.

Enfin, la mosaïque de bijouterie est composée avec des pierres précieuses et des pierres dures, les agates, le malachite, le lapis-lazuli, l'aventurine, etc.

Ce genre particulier de mosaïque a été longtemps exploité avec succès à Rome et à Florence, d'où l'on nous apportait tous ces charmants sujets d'épingles, de plaques de colliers, de broches, de boîtes, de tabatières, etc. Elle est aujourd'hui très-bien réussie en France, notamment avec grand succès par M. Morel, dont les produits ont été particulièrement remarqués à l'Exposition de 1849.

VITRAUX PEINTS.

Les verres colorés paraissent avoir été employés dès le ive siècle dans les basiliques chrétiennes, surtout dans l'empire d'Orient; mais alors seulement à l'état de coloration d'une seule teinte, formant de simples mosaïques dont les éléments étaient réunis par des plombs. L'emploi de quelques hachures en émail noir, pour indiquer des contours et des ombres, donna lieu, vers le xe siècle, à un progrès qui constitua les riches vitraux qui décorent les beaux édifices religieux que nos ancêtres nous ont laissés.

C'est vers la fin du xiie siècle que la peinture sur verre atteignit peut-être son plus haut degré de perfection. L'effet général, l'harmonie des couleurs qui leur donnent le plus grand charme, y sont admirables. Le vitrail était alors combiné par l'architecte, qui savait mettre cette éclatante décoration en rapport avec le monument, qui déterminait les lignes principales des plombs qui réunissaient les pièces de verre, et traçait les dessins géométriques de goût byzantin qui les entouraient.

Au xive et surtout au xve siècle, l'architecte n'est plus l'auteur des vitraux; la raideur des figures disparaît, le genre des ornements change; l'artiste cherche des ombres, une perspective inconnue à ses prédécesseurs, opère par application de couleurs diverses sur le verre coloré; mais, malgré ses qualités de détail, malgré le mérite du travail, son œuvre est presque toujours sans effet à distance, et perd le caractère monumental qui doit être le mérite principal des vitraux colorés.

Le moyen principal d'une fabrication plus parfaite était l'emploi du verre double, c'est-à-dire coloré seulement d'un côté et sur une épaisseur minime. L'enlevage de la petite couche de verre coloré, combiné avec l'application des couleurs d'émail, permit de faire des pièces merveilleuses quant à la beauté des détails, mais qui n'avaient rien de l'harmonie réelle, de l'éclat des anciens vitraux.

On doit donc distinguer trois époques :

1o La première (âge byzantin) commence vers 1150 et finit vers le commencement du xive siècle. Les fonds byzantins à petits ornements y tiennent grande place.

2o La deuxième (âge ogival de l'art) s'étend depuis le commencement du xive jusqu'au xvie siècle.



3° La troisième (âge de transition) comprend le xvie siècle, la renaissance des arts.

Dans les vitraux du XIIe siècle, les champs des mosaïques sont formés de petits morceaux de verre teints dans la pâte et assemblés par des plombs multipliés. C'est une imitation des mosaïques orientales de cette époque. Ces ornements sont caractéristiques de ces premiers et magnifiques produits de la peinture sur verre.

Les vitraux de couleur des anciens styles ont été imités avec assez de succès dans ces dernières années. Les procédés techniques ont été facilement retrouvés; on a appris à monter en plomb les formes irrégulières dont l'ensemble forme la surface à décorer, et on a pu réparer heureusement les produits d'un art né aux XIIe et XIIIe siècles pour la décoration des églises, et dont les œuvres ont conservé les tendances naïves, la forme symbolique de l'architecture du moyen âge. Toutefois les effets des vitraux modernes ont longtemps été inférieurs à ceux des anciens; des teintes bien dégradées, l'imitation de la peinture à l'huile n'ont donné que des résultats très-peu satisfaisants. Un singulier obstacle était le manque d'imperfection du verre moderne, trop bien fabriqué. « Tous les vitraux exposés, disait en 1844 M. Lassus, un des architectes de Notre-Dame, pèchent par un défaut commun qui justifie pleinement tout ce qui a été dit sur l'impossibilité de réussir avec les verres actuels. La coloration de tous ces vitraux manque de puissance et d'éclat; ils sont incapables d'opposer la moindre résistance à l'action des rayons lumineux, qui les traversent d'outre en outre sans éprouver le moindre obstacle..... Dans les anciens vitraux, au contraire, la lumière ne peut pas traverser directement les surfaces courbes, inégales des verres; elle est forcée de se briser, de se réfracter..... De là cet effet chatoyant des vitraux, cet éclat et ce scintillement si remarquables des couleurs. »

Par une étude plus approfondie des conditions à remplir, les artistes sont arrivés à satisfaire aux exigences que M. Lassus signalait avec raison dans le passage précédent, et cela en faisant des stries sur les carreaux, en imitant l'imperfection du verre fabriqué autrefois, imperfection si précieuse pour les jeux de lumière.

On peut poser comme principe fondamental qu'il faut, dans les verrières, dont tous les éléments doivent concourir à rappeler un style déterminé, choisir des tons éclatants, tracer des contours fermes, bien nettement encadrés par les plombs; toujours se rappeler qu'à distance les détails disparaissent, deviennent aisément confus. Les têtes des personnages doivent toujours être lumineuses pour être distinguées de loin. Il y a pour l'artiste une étude toute particulière à faire, celle de l'emploi de couleurs qui doivent être vues par transparence, tandis que dans tous les autres cas on ne les voit que par réflexion.

Les couleurs ternes ne sont pas admissibles; on doit employer, en fait de couleurs, l'azur, le vert, le rouge, le jaune et le violet poussés à la puissance du saphir, de l'émeraude, du rubis, de la topaze. Un vitrail ne doit jamais perdre entièrement son caractère primitif, celui d'une mosaïque transparente. Il doit être avant tout monumental; c'est ce que fait comprendre l'histoire de cet art dont nous avons dit quelques mots, qui constate que les produits sont devenus d'autant plus défectueux que l'imitation des objets naturels devenait plus parfaite.

Nous donnons ici comme spécimen un vitrail célèbre de la Sainte-Chapelle de Paris, représentant Jésus et les apôtres, où respire bien la foi des artistes du moyen âge; il a quelque chose de l'inspiration qui faisait élever le monument resté de nos jours un type de l'art gothique

TISSUS

C'est surtout de l'importante fabrication des étoffes et tissus de tout genre, comprenant tout ce qui est nécessaire pour les vêtements, ce qui constitue une part considérable de la totalité du travail industriel, qu'il nous reste à parler.

Au point de vue des combinaisons, les éléments sont rectangulaires par la nature même des procédés de tissage; il semble donc qu'il ne s'agit que d'un cas assez simple dans lequel la finesse des éléments fournit quelques ressources précieuses pour obtenir des effets peu variés. Mais l'emploi convenable des entrelacements d'un nombre variable de fils ayant des aspects différents et pouvant être disposés suivant les directions diverses, fournit des effets bien plus nombreux que ceux qui semblent devoir être produits par le simple entrelacement rectangulaire.

Ce qui est tout particulier à cette fabrication, au point de vue artistique, c'est l'éclat qu'on peut donner à certaines étoffes, le brillant résultant du recourbement des fils vers les contours du dessin qui ne saurait être atteint par l'impression sur fils plats. Il en est de même de la résistance, de la raideur des étoffes tissées convenablement dans certains sens, ce qui leur donne la propriété de draper, de faire des plis gracieusement soutenus, que les dames savent apprécier et utiliser au point de vue de la richesse, de l'élégance de la toilette. Cette propriété est la plus importante à considérer pour l'emploi des étoffes, après celle de l'éclat, du brillant, qui les fait surtout rechercher.

EFFETS OPTIQUES DES ÉTOFFES.

Le savant M. Chevreul s'est proposé d'analyser les effets du brillant des étoffes, et avec sa perspicacité habituelle il a parfaitement découvert les conditions de sa production. Remarquant que les étoffes sont formées à leur surface de petits fils cylindriques, soit très-courts dans le tissage semblable à celui de la toile, où le fil de la trame recouvrant un fil de la chaîne vient se placer sous les deux fils contigus de celle-ci, soit assez longs et couvrant plusieurs fils de la chaîne, comme dans l'étoffe connue sous le nom de satin; il en a conclu que dans ce second cas la lumière se réfléchit comme sur une série de petits cylindres parallèles et polis, et dans le premier sur des cylindres sur lesquels on aurait produit un grand nombre de rayures, de cannelures transversales rapprochées, correspondant aux courbures répétées du fil. Or les résultats des expériences fondamentales qu'il a faites avec de semblables cylindres métalliques prouvent que dans les mêmes positions les effets d'éclat sont complétement inverses

dans les deux cas, ce qui explique les effets optiques d'une foule d'étoffes[1]. Ainsi les cylindres étant placés parallèlement à la direction de la lumière, le spectateur placé après les cylindres et faisant face à la lumière voit bien moins de lumière réfléchie avec les cylindres cannelés qu'avec les cylindres unis. Il y a, en effet, par l'effet des cannelures, diminution de la surface qui renvoie la lumière dans les cylindres unis. Ce phénomène est celui qui se présente dans les étoffes dites « satins, » dont on connaît le brillant.

DESSINS PRODUITS SUR ÉTOFFES PAR LE TISSAGE.

Nous allons maintenant entrer dans la fabrication des étoffes, dans l'étude de la partie artistique des éléments du vêtement, des tentures, et surtout de la toilette des dames.

La décoration des étoffes, en faisant naître des dessins le plus souvent colorés à leur surface, s'obtient par deux systèmes différents : l'un consiste dans l'impression dont nous avons déjà parlé, l'autre consiste dans le tissage de fils en général, colorés en nuances différentes avant l'opération du tissage dont nous avons à traiter ici. Le

[1] Nous rapporterons ici les résultats des expériences de M. Chevreul, parce qu'ils peuvent servir fréquemment dans la pratique pour analyser des phénomènes très-délicats.

Première position des cylindres unis. — Ils reposent sur un plan horizontal, et leur axe est compris dans le plan de la lumière incidente.

1re *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit les cylindres très-éclairés, parce qu'il reçoit beaucoup de lumière réfléchie régulièrement.

2e *circonstance.* Le spectateur, tournant le dos au jour, voit les cylindres obscurs, parce qu'il ne lui arrive que peu de lumière encore réfléchie irrégulièrement.

Deuxième position des cylindres unis. — Leur axe est perpendiculaire au plan de la lumière incidente.

3e *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit les cylindres moins éclairés que dans la première circonstance, parce qu'il n'y a que la lumière réfléchie par une zone étroite de la partie la plus élevée de chaque cylindre qui lui parvienne.

4e *circonstance.* Le spectateur, tournant le dos au jour, voit les cylindres extrêmement éclairés, parce que chacun d'eux lui apparaît avec une large zone réfléchissant spéculairement la lumière.

Passons à la réflexion de la lumière par des cylindres à cannelures transversales.

Première position des cylindres cannelés. — Ils reposent sur un plan horizontal, et leur axe est compris dans le plan de la lumière incidente.

1re *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit moins de lumière réfléchie qu'avec les cylindres unis, puisqu'il y a eu, par l'effet des cannelures, diminution de l'étendue de la surface, qui, dans les cylindres unis, lui envoyait de la lumière spéculaire.

2e *circonstance.* Pour le spectateur tournant le dos au jour, la réflexion de la lumière est très-forte, parce que ses yeux sont en relation avec la face de chaque cannelure sur laquelle tombe la lumière. Ce résultat est inverse de celui des cylindres unis.

Deuxième position des cylindres cannelés. — Leur plan est perpendiculaire au plan de la lumière incidente.

3e *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit les cylindres plus brillants que dans la première circonstance ; le résultat est donc encore inverse de celui des cylindres unis.

4e *circonstance.* Le spectateur, tournant le dos au jour, voit les cylindres moins brillants que dans la deuxième circonstance, et bien moins brillants encore que ne seraient des cylindres unis.

dessin toujours mieux délimité dans ce second cas par la courbure du fil qui le produit en s'enfonçant à travers l'étoffe, et fournit des effets de lumière qui le détachent nettement du fond du tissu, ceci fait bien comprendre les ressources des procédés à l'aide desquels on fabrique les étoffes très-riches.

ÉTOFFES D'ASPECT DIFFÉRENT EN RAISON DES ARMURES.

1° FILS D'UNE SEULE COULEUR.—Nous avons rapporté les observations de M. Chevreul tendant à préciser nettement les effets bien connus de l'éclat des fils des étoffes, en raison du mode d'entrelacement de ces fils. C'est sur ces propriétés que reposent toutes les fabrications d'étoffes en fils d'une même couleur pour en varier l'apparence aussi bien que la souplesse et les autres propriétés physiques.

Il faut chercher dans un traité de tissage la description des divers modes d'entrelacement, des armures, dites armure toile, croisée, satin, etc. L'armure toile est celle qui produit toujours le passage alternatif de chaque fil de la trame sous chaque fil de la chaîne. L'armure serge ou croisée fait paraître comme des rayures suivant la diagonale des rectangles formés par les fils. L'armure satin est celle qui permet de faire passer le fil de la trame sur plusieurs fils de la chaîne; c'est le moyen de réaliser l'effet de brillant obtenu par des cylindres parallèles. Dans les étoffes de lin et de chanvre, la disposition décorative la plus fréquemment employée, obtenue par un mélange d'armure satin et d'armure croisée, est celle du linge dit damassé, dont la surface est formée de carreaux de dimension un peu grande dans lesquels le grain et l'éclat du tissu varient.

On comprend combien de semblables combinaisons peuvent varier l'apparence des étoffes sur lesquelles elles font apparaître des lignes à angle droit, des lignes obliques, des côtes cannelées, des surfaces veloutées, etc.

Ce n'est pas tout encore, et l'industrie du tissage dispose encore de bien d'autres ressources. Non-seulement les modes d'entrelacement des fils font varier l'aspect des étoffes, leur manière de draper, de faire des plis plus ou moins riches, mais encore le mélange des diverses natures de fils permet d'obtenir des étoffes d'un aspect particulier et jouissant de toutes les propriétés désirables, comme éclat, élasticité, etc. Ainsi la laine peignée servant à faire des mérinos, des damas de laine, etc., la soie des taffetas, des satins; le mélange de fils de ces deux substances sert à obtenir des orléans, des damas, etc. C'est dans ces mélanges de substances comme dans les modes variés de les employer que réside la science des fabricants si habiles qui s'appliquent à la grande industrie du tissage, dont les produits s'élèvent parfois à un degré inouï de délicatesse dont il devient bien difficile de donner une idée.

Au premier rang des étoffes brillantes, nous devons citer les velours, les peluches, véritables étoffes à poils, dans lesquels la lumière se joue de manière à donner des effets d'une grande richesse.

2° FILS DE PLUSIEURS COULEURS.—Passons maintenant au cas où l'on emploie concurremment des fils de plusieurs couleurs, tant pour la chaîne que pour la trame. Il résultera évidemment de leur entrecroisement des combinaisons rectangulaires mul-

tipliées, des séries de carreaux, d'éléments espacés suivant diverses lois, et de couleurs variables en raison de celles des fils.

Le premier système dont nous venons de parler fournit un mode de décoration simple que l'on emploie souvent pour rendre agréables à l'œil des étoffes qui doivent avant tout être produites à bon marché. Un des types les plus brillants de ce genre de fabrication est le tartan écossais, bien connu par la richesse et la vivacité des couleurs, et produit par le croisement à angle droit de lignes de fils de couleurs différentes. L'inspection d'un semblable tissu fait reconnaître comment se succèdent les fils colorés de la chaîne et de la trame, pour obtenir l'éclat qui résulte surtout de la rencontre de fils de même couleur.

Il est impossible d'indiquer le nombre de variations de fils de diverses couleurs, de combinaisons de toutes natures qu'on rencontre dans la fabrication, dont les effets sont encore modifiés par le foulage, les apprêts spéciaux à chaque substance. Ces combinaisons, n'accroissant pas très-sensiblement le prix des étoffes, sont par suite variées à l'infini par les fabricants. Après les rayures, les étoffes à carreaux de tout genre, nous citerons les chinés, qui par des armures convenables donnent des éléments qui, se succédant par intervalles, cessent d'avoir une apparence rectangulaire; les étoffes transparentes, celles à côtes, les velours, etc. etc.

Toutes les combinaisons que nous avons énumérées sommairement en parlant des fils d'une seule couleur, notamment les mélanges de fils de nature différente, s'appliquent, à plus forte raison, au cas où l'on emploie des fils de diverses couleurs pour accroître le charme des tissus.

Les effets résultant de la juxta-position des couleurs exigent, pour être prévus par le fabricant, une très-grande habileté. Une des fabrications les plus curieuses à ce point de vue est celle des étoffes de soie dites changeantes, en ce que la couleur en est différente suivant la position des plis qui reçoivent la lumière. Nous donnerons l'analyse des effets d'une étoffe glacée de cette nature, d'après le savant M. Chevreul :

« Une étoffe de gros de Naples dont la chaîne est bleue et la trame rouge, vue par un spectateur dont la face est tournée au jour, paraît violette; seulement, si la chaîne est comprise dans le plan de la lumière, le violet est plus rouge que dans le cas ordinaire : ceci est conforme aux principes de la réflexion de la lumière par des cylindres métalliques, et au principe du mélange des couleurs. La même étoffe, vue par un spectateur dont le dos est tourné à la lumière, paraît rouge si la chaîne bleue est dans le plan de la lumière incidente, et bleue si la chaîne est perpendiculaire à ce plan, conformément aux principes de la réflexion par un système de cylindres métalliques. »

BROCHÉS.

Lorsqu'on veut obtenir sur étoffes des dessins plus compliqués que ceux dont nous venons de parler, fournissant des figures, des dessins déterminés, il faut entrer dans une fabrication toute spéciale partant de l'imitation d'un dessin déterminé, de l'œuvre de l'artiste; il devient nécessaire alors d'employer le procédé de fabrication au per-

fectionnement duquel Vaucanson et Jacquart ont si remarquablement contribué en rendant tout mécanique un travail qui ne pouvait jusque-là être produit que par l'imitation directe, et fil à fil, d'un dessin modèle.

Le passage du dessin primitif à la fabrication mécanique se fait à l'aide de l'opération intermédiaire dite « mise en carte. » La mise en carte[1] est étudiée par des artistes qui, en se livrant à l'étude des étoffes au point de vue du goût, ont fait singulièrement avancer la fabrication en parvenant à réaliser, à des prix modérés par suite de la facilité de la multiplication, des étoffes de grande valeur artistique.



Étoffe de soie noire.

Nous n'avons pas à parler ici du procédé technique, mais seulement de la reproduction de dessins plus ou moins compliqués à l'aide des ressources qu'offrent les procédés d'exécution les plus parfaits, et qui s'accroissent chaque jour. Dans leur degré le plus avancé, elles permettent au besoin de contourner autour de chaque point de la chaîne un fil de la trame d'une nuance déterminée. Elles offrent donc le moyen de réaliser un dessin quelconque, et l'on n'est limité dans ces travaux que par l'élévation du prix de revient lorsque la complication des nuances dépasse toutes limites.

[1] La mise en carte remonte à 1770 ; elle est attribuée à Revel, peintre d'histoire assez médiocre, qui eut le premier l'idée de reproduire des fleurs sur les étoffes, et qui, après quelques essais, arriva aux moyens pratiqués aujourd'hui. L'idée de colorier la mise en carte se présenta bientôt. On en fit usage dès 1774, et on la doit à Philippe de la Salbe.

Les étoffes de soie, les plus brillantes par leur nature même, et celles par suite sur lesquelles se concentrent principalement les efforts du tissage, sont fréquemment ornées d'imitations de fleurs naturelles qui, par leur éclat, charment les yeux. Lorsqu'on n'emploie qu'une seule couleur, c'est à l'aide de modes d'entrelacements varies en divers points qu'on obtient des contrastes d'éclat qui différencient parfaitement les divers contours et forment ees magnifiques damas de soie, produits si beaux et si justement appréciés. Nous avons offert ci-dessus pour exemple une étoffe de soie noire qui figure à l'Exposition de 1855.

Nous citons encore un autre exemple d'étoffe moderne, brochée en couleur sur fond blanc, qui donne idée du style et des moyens nouveaux de production appréciés aujourd'hui.



Etoffe brochee.

Ce n'est vraiment que pour les étoffes de soie qu'il existe une tradition historique, car on les recevait d'Orient pendant le moyen âge; c'est le commerce des beaux produits fabriqués dans l'Inde et la Chine, et que nous admirons encore, qui a enrichi Venise. C'est par suite, jusqu'au style moderne, le goût oriental qui a dominé dans la fabrication des soieries; il y tient encore une grande place. En fait d'autres styles, et seulement dans quelques cas spéciaux, tels que les étoffes pour ornements d'église, pour bannières, etc., on peut trouver des décorations qui rappellent l'art gothique ou l'art byzantin.

La fabrication européenne a une origine assez ancienne; on sait que, dès le

IVe siècle, sous Justinien, deux moines rapportèrent le ver à soie et le mûrier, et que l'industrie de la soie commença en Orient mais sans pénétrer à l'Occident. Nous avons déjà dit que c'étaient les Normands qui, au XIIe siècle, avaient introduit en Sicile et ravi à la Grèce l'industrie de la soie, qui s'y était conservée depuis l'introduction du ver à soie. Cette industrie se répandit en Italie, et fut introduite dans le midi de la France, vers 1260, par des familles guelfes chassées de Florence par les Gibelins. Toutefois cette industrie ne fit que peu de progrès.

Louis XI établit des manufactures à Tours et fit venir des ouvriers de Grèce et d'Italie; mais Charles VIII, et principalement François Ier, durant les guerres d'Italie, furent les principaux fondateurs de cette fabrication en France. Enfin c'est le grand Colbert, au milieu des triomphes des beaux-arts, qui l'achemina vers le degré de splendeur et d'étendue où nous la voyons. Toutefois c'est à l'industrieuse activité de la population lyonnaise qu'on doit faire remonter avant tout l'honneur du développement immense de cette belle industrie et aussi à la grande invention de la Jacquart, grâce à laquelle la production et la vulgarisation des beaux tissus de soie ont atteint des limites extrêmement reculées[1].

CHALES CACHEMIRES.

Le châle de l'Inde appartient essentiellement au « style oriental » par sa nature même, par l'imitation des fleurs de l'Inde, étalées à plat comme dans un herbier, sans essai de perspective, de dégradation de teintes. C'est l'éclat de ces couleurs juxtaposées pour produire un maximum d'effet, avec une entente traditionnelle mais parfaite du contraste des couleurs, plutôt que la bizarrerie des formes, qui, avec la finesse du tissu, a fait le succès du châle de l'Inde.

Longtemps les artistes français ont conservé la tradition de copier plus ou moins fidèlement le châle de l'Inde. La nécessité de varier pour plaire au goût des consommateurs a fait tenter d'en modifier le dessin; le genre renaissance a d'abord été tenté avec peu de succès. Il consistait dans un mélange de l'ornement et de la fleur de fantaisie, le tout modifié dans le style châle, c'est-à-dire oriental, à teintes plates et à couleurs vives.

[1] C'est à Lyon que se sont accomplis presque tous les grands progrès dans l'industrie du tissage des soies, et ils ont été nombreux et importants depuis un siècle. Elle est aujourd'hui la métropole de cette magnifique industrie, qui n'est pas une source de richesse seulement mais encore d'honneur pour notre pays. Elle l'était déjà lorsque les fabricants protestants, chassés par la révocation de l'Édit de Nantes, créèrent les centres, rivaux aujourd'hui, de Crefeld, Spitalfields, etc. Grâce aux perfectionnements de chaque jour, la fabrication des étoffes de soie brochées exécute des chefs-d'œuvre qui sont peut-être l'expression la plus élevée de la partie des arts industriels qui procèdent de la peinture. On ne saurait croire à quelle sûreté de goût parviennent les habiles fabricants et contre-maîtres de Lyon qui font le succès de cette belle industrie. Nous ne les citons pas ici, parce qu'ils forment une trop nombreuse phalange.

Nous en donnons pour exemple un magnifique châle dit « Ispahan », dessiné par M. Couder, un de nos plus habiles dessinateurs industriels.



Le genre renaissance usé, le goût français, enhardi par cet essai, dans lequel on avait introduit les vues de bâtiments, des essais de perspective, erreur que le goût

public avait bientôt reconnue, n'a pas craint de modifier le type primitif sous le triple point de vue de la hardiesse des lignes, de la richesse et de la multiplicité du détail ; peut-être même il est d'abord allé jusqu'à l'excès sous ce dernier rapport; aussi a-t-il été ramené à se rapprocher beaucoup du style de l'Inde.

Les fabricants de châles de Paris, créateurs d'une industrie qui, en utilisant les ressources les plus perfectionnées du tissage, a pris un admirable développement, sont vraiment, au point de vue de l'art, à la tête d'une école de dessin industriel appliqué à toute espèce d'étoffes d'un genre spécial et ayant de très-heureuses applications.

On se rendrait difficilement compte, sans un exemple, de l'immense travail de composition, tant sous le rapport du dessin que de la coloration, qu'exige l'œuvre du dessinateur en châles. C'est sûrement un des plus grands travaux qui puisse être l'objet des efforts d'un artiste industriel doué d'une imagination fertile.

Ce que nous avons dit de l'éclat des couleurs fait bien comprendre la brillante apparence des châles tissés avec des fils teints en couleurs vives, dont les extrémités viennent s'engager dans le tissu ; des points brillants se multiplient ainsi à l'infini. L'impression ne saurait donner des étoffes ayant un éclat comparable à celui des étoffes brochées, surtout quand, comme dans celles dont nous parlons ici, on n'emploie pour les dessins que des couleurs franches qui ont le plus d'éclat, le rouge, le jaune, le bleu brillant, et jamais les teintes obscures, telles que le brun[1].

TAPIS.

La fabrication des tapis emploie souvent, comme celle des produits précédents, toutes les ressources du tissage ; aussi a-t-on pu, avec nos belles tapisseries de haute lisse des Gobelins, reproduire avec une fidélité admirable les tableaux les plus importants de nos artistes, en dépassant, il est vrai, le but qu'on doit se proposer d'atteindre avec ce genre de produit.

« La tapisserie, dit M. Chevreul, ne pouvant triompher de la peinture, ne doit pas

[1] Un grand progrès tout récent de la fabrication française, que l'on peut apprécier dans les produits mis à l'exposition de 1855 par M. Deneirouze, un de nos plus habiles fabricants de châles qui est depuis trente ans au premier rang de cette belle industrie, consiste dans le mélange des fils pour diminuer le nombre des couleurs employées et simplifier le travail. Donnons un exemple de cette fabrication, qui repose sur le principe du mélange des couleurs.

Supposons que l'on veuille obtenir un ton vert clair et que l'on n'ait que des fils vert foncé et des blancs. Au lieu de se servir d'une navette, on en emploiera deux qu'on chassera successivement, de façon à ce que les deux trames, la verte et la blanche, n'en forment qu'une juxta-posée, qui ne sera ni verte ni blanche, mais d'un vert clair. On peut faire ces applications pour toutes les nuances par des trames doubles ou triples agissant comme une seule ; il faut seulement que la finesse de chacune d'elles augmente dans la même proportion. Ce stratagème, résultant de la combinaison de la science et de l'art, donne la clef de la richesse extraordinaire et du fondu parfait qu'offrent la plupart des châles sortis des mains de nos premiers fabricants.

lutter avec elle en cherchant à reproduire des détails et des effets pour lesquels elle n'est pas faite.

« Rappelons que sa structure cannelee, que la forme filamenteuse de ses couleurs s'y oppose ; rappelons que ses ombres ne peuvent avoir la vigueur des ombres d'une peinture à l'huile, ni ses clairs l'éclat des blancs de celle-ci. Les extrêmes de contraste de ton se trouvent donc plus éloignés dans la peinture à l'huile que dans la tapisserie. »

Ajoutons que les couleurs ne sauraient, même dans la tapisserie au plus petit point, être dégradées, fondues d'une manière en rien comparable à ce que la peinture permet d'obtenir.

Obtenus par le passage fil à fil autour de la chaîne d'un nombre infini de fils parfaitement nuancés et bien assortis, les tapis de haute lisse fournissent, par chaque fil paraissant à leur surface, exactement la couleur renfermée dans un petit carré du modèle colorié et divisé en petits carrés élémentaires. C'est ainsi qu'on obtient des imitations d'œuvres d'art remarquables par la difficulté vaincue, sinon par leur valeur artistique.

L'emploi des tapis est, dans nos pays froids, le luxe qui remplace la mosaïque des Romains pour orner le parquet de nos appartements, et décorer les édifices publics. Ce luxe est très-ancien, car, dès le VIIe siècle, on employa les tapisseries à la décoration des églises. La fabrication des tapis fut importée d'Orient par les croisés ; elle fut exercée d'abord par des prisonniers ou des ouvriers « sarrasins », ou plutôt « sarrasinois, » comme les appellent les vieilles légendes. C'est surtout à Louis XIV et à l'établissement des Gobelins que sont dus les progrès modernes de cette belle industrie.



Tapis style mauresque.

Les moquettes, obtenues à l'aide des métiers à la Jacquart, sont ornées en général de fleurs, d'imitations d'objets naturels. Les tapis d'Aubusson et des Gobelins, fabriqués sur de grandes dimensions, représentent soit des fleurs, soit des médaillons.

Nous devons citer comme d'une grande richesse un des produits les plus recherchés de l'Orient, le tapis turc à longs poils, les tapis veloutés. Enfin, l'Exposition de 1855 nous a montré des tapis anglais fabriqués par impression sur chaîne, qui sont d'un très-bel effet.

Les procédés de fabrication des tapis permettent d'exécuter la plupart des genres de décoration, variables en raison de l'usage lui-même multiple des produits; c'est ainsi qu'on les emploie pour portières, pour meubles aussi bien que pour tapis de pied.

Nous donnons ci-dessus le dessin d'un tapis reproduisant un motif de décoration de l'Alhambra; le genre mauresque avec ses riches couleurs est éminemment propre à fournir des sujets d'ornementation pour ce genre de produits. En France, cependant, la représentation des fleurs et des fruits vient disputer le terrain aux arabesques et aux contours variés qui ne représentent aucun objet déterminé et qui semblent tout à fait convenables à cette industrie qui se propose la décoration des intérieurs.

TISSUS A MAILLES. — DENTELLES. — TULLES.

Les étoffes à mailles forment, par leur transparence, un des accessoires les plus élégants de la toilette. La plus remarquable, sans contredit, est la dentelle formée d'un



Dentelle.

tissu à jour formé par des entrelacements polygonaux de fils plus ou moins rapprochés en certaines parties, de manière à former des dessins opaques en quelques parties,

ce qui permet d'obtenir des variétés nombreuses de dessins. Ceux-ci rappellent en général aujourd'hui des rameaux, des fleurs, des arabesques. Ces dessins ont varié aux diverses époques, comme les dessins des divers styles; c'est ainsi que sous l'empire on ne connaissait que de grands dessins peu gracieux.

A toutes les époques de richesse et de prospérité, la délicatesse et la transparence du tissu, qui donne des effets très-gracieux par la superposition (partielle le plus souvent) de ce réseau si léger sur d'autres étoffes, ont assuré le succès des dentelles pour la toilette des dames, bien que la valeur des dessins qu'elles reproduisent ait été assez minime, au moins jusqu'en ces dernières années. Il y a là des études curieuses à faire, en ayant soin toutefois de ne pas oublier que la légèreté, la délicatesse doivent être le caractère essentiel de ces petites compositions.

Les tulles, les blondes de soie sont des variantes de ce genre de tissus ; les gazes et autres étoffes transparentes donnent des effets de même ordre, mais moins complets.

On donne le nom de guipures à des dentelles fort usitées sous Louis XIV, dont le fond disparaît presque entièrement pour ne laisser que les ornements mats réunis par un petit nombre de fils.

La fabrication du tulle à la mécanique, en réduisant à un prix minime le réseau même de la dentelle, a vulgarisé l'emploi d'une décoration charmante, l'application de Bruxelles, obtenue avec des ornements tissés à l'aiguille, d'une grande délicatesse, appliqués sur le tulle. La fabrication française n'est pas sortie de la véritable dentelle, mais elle en a varié à l'infini les éléments, et a employé la soie blanche et noire, le fil de lin, etc

TISSUS AVEC RELIEFS. — BRODERIES.

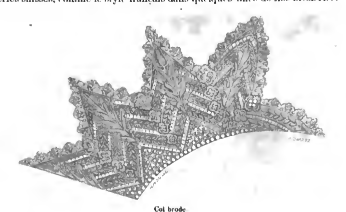
Dans plusieurs procédés de fabrication, on donne au dessin blanc ou coloré, destiné à l'orner, un relief qui a toujours un éclat supérieur à un ornement qui ne s'élève pas au-dessus de la surface du tissu. Nous citerons notamment les velours sur étoffes de soie, aujourd'hui fort à la mode

Quel que soit le procédé de fabrication, l'effet se rapproche en général tout à fait de celui qui est créé par le procédé le plus ancien et qui donne encore la plus grande quantité de produits de cette nature, celui de la broderie.

La broderie s'obtient par le passage de fils, obtenu en général à l'aide de l'aiguille, en des points d'un tissu peu serré. La répétition et la juxta-position des fils, la différence de longueur entre les points d'entrée et de sortie du fil sur la surface de l'étoffe permettent d'obtenir des dessins en relief de tout genre. L'opposition de parties mates et de parties découpées à jour, l'élévation plus ou moins grande de parties saillantes sur la surface de l'étoffe, offrent les principales ressources de la broderie.

La broderie est très-ancienne; ses procédés ont été appliqués de tout temps et en tous lieux. On en parle dans la Bible, dans Homère; on ne trouve pas une peuplade sauvage qui ne produise quelques broderies avec les éléments qu'elle a à sa disposition, et elles acquièrent une grande perfection chez les nations industrieuses. Les mousselines brodées de l'Inde ont fourni les premiers modèles d'une grande élégance.

Quant au goût du dessin, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit à propos de la dentelle, en faisant remarquer toutefois qu'il existe de grandes différences dans les effets des fils dans les deux cas. Chez les nations européennes, le goût de chacun se reconnaît dans leurs broderies; le style allemand est tout entier dans certaines broderies suisses, comme le style français dans quelques-unes de nos broderies.



Col brodé

La broderie ne se fait pas seulement en variant les points, mais encore en employant les fils de couleur, les perles, les fils d'or pour la passementerie militaire, en introduisant des grains d'acier ou toute autre substance dans chaque fil; mais tous ces emplois sont de peu de valeur artistique et sont d'une importance commerciale moindre que celle de la broderie blanche. La Compagnie des Indes étalait à l'Exposition de Paris des broderies en fil d'or, des selles décorées en passementerie, d'un éclat extraordinaire. La broderie en or trouve une grande application dans les pays catholiques, dans la fabrication des ornements d'église, des chasubles.

Le relief, en détachant les couleurs, donne en général de la dureté au dessin qu'il figure; c'est pour cela que, sauf un petit nombre de cas, il est de la couleur du fond, ou d'un ton peu différent, la modification dans l'aspect étant produite par la disposition des fils différente sur la broderie et sur le tissu. Les Chinois excellent dans les broderies de couleur.

Les tapisseries sur canevas et les tapisseries anciennes rentrent dans cette section; c'étaient de véritables broderies. Elles ont été l'objet de travaux très-considérables, parmi lesquels nous citerons la tapisserie de Bayeux, due à la reine Mathilde et représentant la conquête de l'Angleterre. Ce genre de tapisserie était l'œuvre d'art par excellence des femmes des vaillants barons, le travail des Pénélopes du moyen âge.



FIN.

TABLE DES MATIÈRES.



Paris. — Imprimé chez Bonaventure et Ducessois, quai des Augustins, 55.